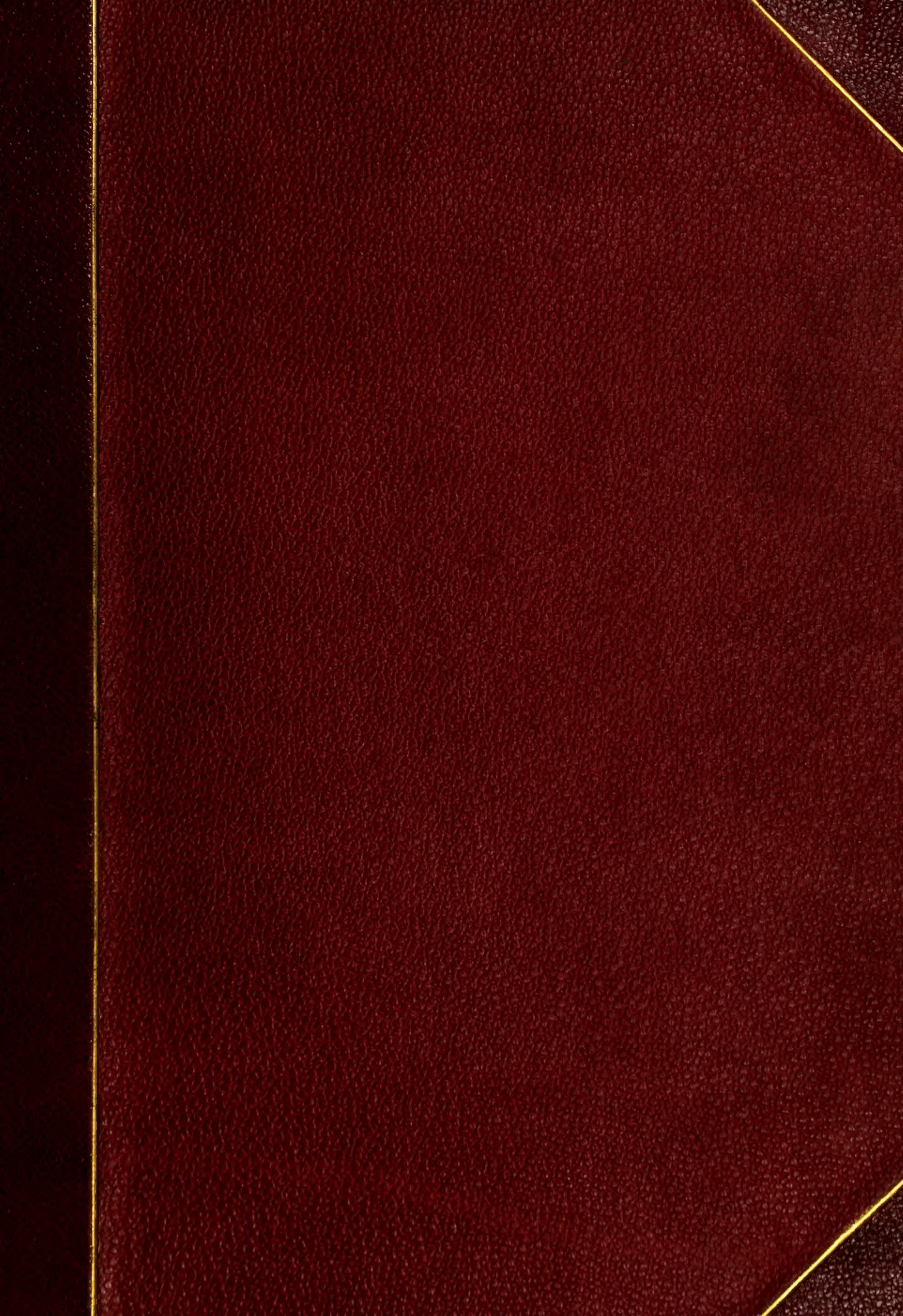






VERHANDELINGEN

DER

KONINKLIJKE AKADEMIE

VAN

WETENSCHAPPEN.

EERSTE DEEL.

MET PLATEN.

AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.
1854.

VERHANDELINGEN

DER

KONINKLIJKE AKADEMIE

VAN

WETENSCHAPPEN.

EERSTE DEEL.

MET PLATEN.



AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.
1854.

GEDRUKT BIJ W. J. KRÖBER.

INHOUD

VAN HET

EERSTE DEEL.



Drukfout in de Verhandeling van *R. VAN REES*, over *de Theorie der Magnetische Krachtlijnen.*

Blz. 21, reg. 17, *staat:* **AMPÈRE**, *lees:* **FARADAY**.

BIJDRAGE TOT DE KENNIS

DER

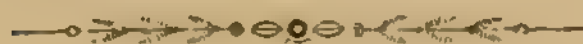
ICHTHYOLOGISCHE FAUNA VAN JAPAN,

DOOR

Dr. *P. BLEEKER*,

TE BATAVIA.

Uitgegeven door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.



AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.
1853.

GEDRUKT BIJ W. J. KRÖBER.

BIJDRAGE TOT DE KENNIS

DER

ICHTHYOLOGISCHE FAUNA VAN JAPAN,

DOOR

Dr. *P. BLEEKER.*

TE BATAVIA.

Bij zijne terugkomst van Japan had de heer Dr. O. G. J. Mohnike de goedheid, aan mij af te staan, eene kleine verzameling visschen, gevangen in de zeeëngte tusschen de groote Japansche eilanden Nippon, Sikok en Kiusiu, en wel bij het eilandje Kaminoseki, gelegen onder de zuidkust van Nippon. Deze verzameling bestaat uit de volgende soorten:

1. Pteroïs lunulata H. Schl.
2. Synanceia erosa Langsd.
3. Monocentris cataphracta Bl. Schn.
4. Hoplegnathus fasciatus Richards.
5. Chaetodon modestus H. Schl.
6. Cepola Krusensternii H. Schl.
7. Dictyosoma Bürgeri J. v. d. H.
8. Halieutaca stellata W.
9. Fistularia immaculata Comm.
10. Cobitis rubripinnis H. Schl.
11. Ophisurus serpens Lacép.
12. Monacanthus komuki Blkr.
13. Ostracion stictonotus H. Schl.
14. » turritus Forsk.
15. Hippocampus Mohnikei Blkr.

Twaalf dezer soorten zijn reeds vermeld in de Fauna Japonica, volgens welk prachtwerk het aantal door Nederlandsche reizigers in Japan waargenomen vischsoorten 358 bedraagt. Monacanthus komuki, Ostracion turritus en Hippocampus Mohnikei zijn nieuw voor de Fauna van Japan, en Monacanthus komuki en Hippocampus Mohnikei, naar ik geloof, tevens nieuw voor de wetenschap.

Ik heb het niet overbodig geacht, van de genoemde soorten nieuwe beschrijvingen te ontwerpen en de reeds bestaande beschrijvingen toe te lichten en deels te verbeteren.

DESCRIPTIONES SPECIERUM DIAGNOSTICAE.

Pteroïs lunulata T. Schl., Faun. Jap. Poiss. p. 46, tab. 19.

Pter. corpore oblongo compresso, altitudine 4 in ejus longitudine; latitudine

$1\frac{1}{2}$ circiter in ejus altitudine; capite 4 circiter in longitudine corporis; oculis diametro 4 et paulo in longitudine capitis, minus diametro 1 a 4 invicem distantibus; vertice, temporibus, orbitis rostroque spinis vel spinulis armatis; cirris vel fimbriis cutaneis supra orbitalibus minimis, rostralibus, suborbitalibus et praeopercularibus oculo brevioribus vel vix longioribus; ossibus suborbitalibus crista spinosa; praeoperculo obtusangulo spinis 3 acutis; operculo spina unica plana; squamis lateribus 55 p. m. in serie longitudinali; pinna dorsali spinosa corpore vix altiore spinis mediis ceteris longioribus, membrana basi tantum unitis; dorsali radiosa et anali rotundatis, corpore vix altiore spinis mediis ceteris longioribus; membrana basi tantum unitis; dorsali radiosa et anali rotundatis, corpore vix humilioribus, basin pinnae caudalis superantibus; pectoralibus caudalem, ventralibus obtusis analem attingentibus; caudali rotundata $5\frac{2}{5}$ circiter in longitudine corporis; colore corpore rubro, capite dorsoque fasciis numerosis transversis fuscis; humero macula nigra; pinnis rubris, dorsali spinosa membrana spinisque fusco maculata; dorsali et anali radiosis et caudali immaculatis; pectoralibus nigro reticulatis et maculatis; ventralibus maculis irregularibus nigris.

B. 7. D. 12 I/12. P. 12 vel 13. V. 1/5. A. 3/7 vel 3/8. C. 14 et spin. later. brev. 6.

Synon. *Jamanokami* Japonens.

Lung seu Yu et *Lung su u* Chinens.

Habit. In mari, prope insulam Kaminoseki.

Longitudo speciminis unici 255‴.

Aanm. Volgens den heer Bürger leeft deze soort in groot aantal in de baai van Nangasaki. De heer Mohnike bragt haar mede van Kaminoseki en Sir Edward Belcher vond haar ook aan de kust van China, niet ver van Canton. Zij heeft zeer groote verwantschap met Pteroïs kodipungi (Kodipungi Russ. Corom. Fish. II, p. 25, fig. 135), welke, behalve aan de kust van Coromandel, ook bij Java en Sumatra voorkomt, en nader beschreven is in mijne ter perse te leggen »Bijdrage tot de kennis der Ichthyologische Fauna van Sumatra." Pteroïs kodipungi Blkr. laat zich van Pteroïs lunulata Schl. gemakkelijk onderkennen door hare dropvormige gele buikvinvlekken. In de Fauna Japonica wordt het aantal borstvinstralen van Pteroïs lunulata gezegd te zijn 14. Bij mijn eenig specimen tel ik aan de regterzijde 12 en aan de linkerzijde 13 borstvinstralen. Ook vertoont er de borstvin niet zulke halvemaanvormige vlekken als de afbeelding der Fauna Japonica, maar loopen de onregelmatige vlekken tot een wijdmazig net ineen.

SYNANCEIA EROSA Langsd. Cuv. Poiss. IV, p. 337, tab. 96. Schl. Faun. Jap. Poiss. p. 45, tab. 17, fig. 1.

Synanc. corpore oblongo, antice cylindraceo, postice compresso, altitudine $2\frac{3}{4}$ ad $2\frac{2}{3}$ in ejus longitudine; capite monstroso quasi eroso, $2\frac{1}{2}$ ad $2\frac{1}{3}$ in longitudine corporis, aeque alto ac longo sed latiore quam longo, alepidoto, tuberculis osseis maxime sulcato et tuberculato; vertice et fronte fossa magna quadrata, crista intermedia interoculari tuberculosa; oculis orbitis elevatis tuberculatis cinctis, diametro $5\frac{1}{2}$ ad $6\frac{1}{2}$ in longitudine capitis; fossa suboculari nulla; ore antico rictu valde obliquo; labiis non fimbriatis; ossibus suborbitalibus antice processubus 2 obtusis; praeoperculo processubus 4 vel 5 osseis obtusis; operculo cristis 2 osseis; cute alepidota, tuberculata, tuberculis non armatis; pinnis rotundatis, dorsali basi cum basi pinnae caudalis unita; pectoralibus multo latioribus quam longis; ventralibus maxime parte liberis; caudali 6 circiter in longitudine corporis, corpore rubro-violaceo, roseo et flavescente nebulato et subfasciato; pinna dorsali rubro-violaceo et aurantiaco nebulata et nigricante punctulata; pectoralibus basi violascente-rubris, medio ocellis nigricantibus, ocellis pupilla flavescente, apicem versus aurantiacis, ocellis nigricantibus striisque nigricantibus transversis; ventralibus et anali violascentibus ocellis ut in pectoralibus; caudali aurantica vittis transversis fuscis.

B. 7. D. 14/7. P. 15. V. 1/4. A. 3/6 vel 3/7. C. 12 et lat brev.

Synon. *Synancée rongée* Cuv. Poiss. IV, p. 337, Tab. 96.

Beniwogoze Japonens.

Hab. In mari, prope insulam Kaminoseki.

Longitudo 3 speciminum 100‴ ad 155‴.

AANM. De afbeelding dezer soort in de Fauna Japonica is veel beter dan die in de groote Histoire naturelle des Poissons. De heer SCHLEGEL heeft de kleuren insgelijks beter beschreven, doch niet oplettend gemaakt op overige onnaauwkeurigheden in de beschrijving van CUVIER. Zoo vind ik bij mijne specimina den kop grooter dan door CUVIER is opgegeven, en standvastig 14 rugvindoornen en 7 rugvinstralen, 15 borstvinstralen en 4 buikvinstralen, terwijl die getallen in het groote vischwerk zijn vermeld als D. 13/9. P. 14. V. 1/5. — Volgens den heer BÜRGER wordt Synanceia erosa in de baai van Nagasaki nu en dan in de lente gevangen en haar vleesch voor smakelijk gehouden.

MONOCENTRIS CATAPHRACTA Bl. Schn. Syst. posth. p. 100, tab. 24.

Monoc. corpore oblongo compresso, altitudine 2 ad $2\frac{1}{3}$ in ejus longitudine, latitudine $2\frac{1}{4}$ circiter in ejus altitudine; capite obtuso convexo 3 circiter in

longitudine corporis, paulo altiore quam longo; oculis diametro 3 ad 3½ in longitudine capitis; rostro convexo paulo ante os prominente ore infero; maxilla superiore inferiore longiore post oculum desinente; genis cristatis et lacunosis; squamis scutiformibus, carinatis, scabris, lateribus 14 in serie longitudinali, posticis spinosis; ventre carinato scuto postico in spinam majorem exeunte; pinna dorsali spinosa spinis liberis, erectis, lateraliter valde divergentibus; dorsali radiosa rotundata dorsali spinosa humiliore; pectoralibus apice rotundatis capite brevioribus; ventralibus radiis brevissimis spina maxima capite vix breviore; anali rotundata; caudali emarginata lobis obtusis rotundatis 5 ad 6 in longitudine corporis; colore corpore pinnisque flavo; maxillis, regione infraoculari marginibusque squamarum nigris.

B. 8. D. 4+2 rudimentar. vel 3+3 rudiment. — 2/9 vel 2/10. P. 2/12. V. 1/3. A. 1/9 vel 1/10. C. 19+6 ad 10 spinul. later. brev.

Synon. *Gasterosteus japonicus* Houtt. Verhand. Holl. Maatsch. v. Wetensch. XX. II. p. 329.
Sciaena japonica Thunb. Nov. act. acad. scient. Suec. XI, p 102, tab. 3.
Lepisacanthus japonicus Lacép. Poiss. III, p. 321.
Lépisacanthe japonais Lacép. ibid. III, tab. 97.
Monocentris japonicus Cuv. Poiss. IV p. 338. Règn. anim. éd. lux. Poiss. tab. 26 fig. 1: Schl. Faun. Jap. Poiss. p. 50, tab. 22, fig. 1.
Monocentris carinata Cuv. Poiss. IV, p. 97.
Monocentris du Japon Cuv. Poiss. IV, p. 338.
Matskasa Japonens.

Hab. In mari, prope insulam Kaminoseki.

Longitudo 2 speciminum 110‴ et 155‴.

Aanm. Van de bestaande afbeeldingen dezer merkwaardige soort is die der Fauna Japonica verre weg de beste. Deze afbeelding geeft ook duidelijk aan, dat de staartvin tweekwabbig is, terwijl deze vin op de overige bestaande figuren niet uitgerand maar bol is. Monocentris cataphracta schijnt bij Nagasaki in overvloed voor te komen en wegens haar smakelijk vleesch zeer gezocht te zijn.

Hoplegnathoïdei Blkr.

Dentes maxillares ut in scaris. Ossa pharyngealia inferiora libera, non unita. Pinnae dorsalis, ventrales analisque spinosae.

Hoplegnathus fasciatus Richards. Rep. 15 meet. Brit. Assoc. Ichth. Chin. p. 316.

Hoplegnath. corpore oblongo compresso, altitudine 2¼ ad 2½ in ejus longitu-

dine, latitudine $3\frac{1}{2}$ circiter in ejus altitudine; capite $3\frac{2}{3}$ ad 4 et paulo in longitudine corporis, aeque alto circiter ac longo; oculis diametro 4 ad $5\frac{1}{2}$ in longitudine capitis; linea rostro-frontali junioribus declivi rectiuscula vel concaviuscula, adultis flexuosa; maxillis scaroideis margine libero vix crenatis; praeoperculo subrectangulo angulo rotundato, margine junioribus denticulis valde conspicuis serrato; operculo spinis 2 planis; lineis dorsali et ventrali rotundatis, dorso tamen ventre multo altiore; squamis parvis junioribus et adultis bene conspicuis; linea laterali lineae dorsali subparallela; pinna dorsali emarginata, parte spinosa rotundata; dorsali radiosa et anali junioribus rotundatis, adultis angulatis; pectoralibus rotundatis et ventralibus acutis longitudine subaequalibus capite brevioribus; caudali vix emarginata angulis leviter rotundata; colore junioribus olivaceo; capite corporeque fasciis 6 vel 7 transversis nigricantibus, fascia 1ª oculari, 2ª dorso-pectorali, 3ª, 4ª et 5ª dorso-analibus, 6ª et 7ª caudalibus; pinnis pectoralibus luride viridibus, ceteris nigricantibus; fasciis adultis diffusis vel nullis.

B. 7. D. 12/16 vel 12/17. P. 2/16. V. 1/5. A. 3/13. C. 17 et lat. brev.

Synon. *Scaradon fasciatus.* Schl. Faun. Jap. Poiss. p. 89, tab. 46, fig. 1, 2.

Hiza Japonens.

Habit. In mari, prope insulam Kaminoseki.

Longitudo 2 speciminum 64‴ et 75‴.

Aanm. Het geslacht Hoplegnathus is ontdekt door den heer Richardson, en het eerst beschreven in de Proceedings of the Zoological Society of London van 1840. Er zijn thans reeds drie soorten van dit geslacht bekend, t. w. Hoplegnathus Conwayii Richards. (Transact. Zoologic. Societ. vol. III, 1845, p. 145, tab. 7, fig. 1), Hoplegnathus punctatus Richards. (Scaradon punctatus Schl. Faun. Jap. Poiss. p. 91) en de boven beschrevene, van welke een volwassen en een jong specimen in de Fauna Japonica zijn afgebeeld. Ik bezit slechts 2 jeugdige specimina van Hoplegnathus fasciatus, beiden kleiner dan figuur 2 der aangehaalde plaat van de Fauna Japonica. Deze figuur is zeer juist, en slechts in dit opzigt gebrekkig, dat men er de schubben niet zien kan.

Door zijn merkwaardig tandenstelsel laat zich Hoplegnathus onder geene der bekende familiën rangschikken. De onderste keelgatsbeenderen zijn er *niet vereenigd*, zoodat het geslacht niet met de Labroïden vereenigd kan worden, waartegen overigens ook zijn geheele bouw en habitus zou pleiten. De ingewanden van mijne specimina lieten geen anatomisch onderzoek toe. Het komt mij voor, dat dit geslacht te stellen is aan het hoofd eener nieuwe fa-

milie, welke dan in verwantschap zou staan tusschen de Sciaenoïdei, Chaetodontoïdei en Scaroïdei.

De bovenstaande beschrijving is opgemaakt naar mijne specimina, alsmede naar de afbeelding van het volwassen specimen in de Fauna Japonica. De soort schijnt bij Nagasaki vrij zeldzaam te zijn en wordt zeer geacht wegens haar smakelijk vleesch.

Chaetodon modestus Schl., Faun. Japon. Poiss. p. 80, tab. 41, fig. 2.

Chaetod. corpore disciformi, diametro dorso-ventrali $1\frac{3}{5}$ in ejus longitudine; capite $3\frac{3}{4}$ in longitudine corporis; oculis diametro 3 in longitudine capitis; linea rostro-dorsali capite valde concava, linea rostro-ventrali vix longiore; squamis lateribus 40 p. m. in serie longitudinali; pinnis dorsali et anali rotundatis, dorsali spinis 4^a, 5^a et 6^a spinis ceteris crassioribus et longioribus; pectoralibus ventralibus vix brevioribus; ventralibus longitudine caput aequantibus radio 1° subfiligero analem attingente; caudali truncata vel extensa leviter convexa; colore corpore flavescente-margaritaceo, fasciis 3 latis transversis fusco-aurantiacis fusco marginatis, fascia 1^a oculari, 2^a dorso-ventrali, 3^a dorso-anali; pinnis aurantiacis, dorsali macula rotunda nigra radium 3^m inter et 8^m et macula trigona nigra spinam 2^m inter et 3^m; caudali basi fascia transversa fusco-aurantiaca.

B. 6. D. 11/23. P. 2/14. V. 1/5. A. 3/19. C. 15 vel 17 et lat. brevior.

Synon. *Hatatate* Japonens.

Habit. In mari prope insulam Kaminoseki.

Longitudo speciminis unici 106'''.

Aanm. Ik vind eenige ligte verschillen in de getallen der vinstralen tusschen mijn specimen en de opgave van den heer Schlegel, welke die formuleert = D. 11/21. A. 3/20. P. 14. De soort heeft zeer veel van Chaetodon chrysozonus K. v. H., doch laat er zich gemakkelijk van onderscheiden, behalve door de verschillen in kleurteekening en getallen der vinstralen, doordien bij Chaetodon chrysozonus de rugdoornen veel minder ontwikkeld zijn en de achterste doornen langer zijn dan de middelste.

Cepola krusensternii Schl., Faun. Jap. Poiss. p. 130, tab. 71, fig. 1.

Synon. *Cepola limbata* Cuv. Poiss. X., p. 297. Krusenst.
Cépole du Japon Cuv. ibid.
Cepola marginata Cuv. ibid.
Cépole bordée Cuv. ibid.
Sakenoïwo Japonens.

Habit. In mari prope insulam Kaminoseki.

Longitudo speciminis unici 205‴.

Aanm. Mijn specimen is in een te gebrekkigen toestand van bewaring om er eene goede beschrijving van te geven, zijnde de kleuren grootendeels verloren gegaan, de vinnen beschadigd en de staart gedeeltelijk afgebroken.

Dictyosoma Bürgeri J. van der Hoeven *Handb. d. Dierk.*, II, p. 347.

Dictyos. corpore elongato compresso, altitudine 9 fere in ejus longitudine, latitudine 1½ in ejus altitudine; capite convexo 7⅓ circiter in longitudine corporis, duplo fere longiore quam alto; oculis diametro 6 circiter in longitudine capitis; rostro convexo; genis rostroque poris conspicuis; maxillis subaequalibus, superiore sub oculi limbo posteriore desinente; dentibus maxillis pluriseriatis conicis, serie externa majoribus; maxilla inferiore antice caninis 2 parvis; dentibus vomerinis et palatinis obtusis, palatinis in thurmas 2 oblongas thurmae dentium vomerinorum contiguas dispositis; squamis corpore minimis; cute in sectiones hexagonas, quadratas, oblongo-quadratas et pentagonas divisa; sectionibus quadratis vel hexagonis dorsalibus; sectionibus oblongo-quadratis verticalibus lateralibus plus quam 40; sectionibus pentagonis basi analis approximatis plus quam 20; sectionibus caudalibus posterioribus longitudinalibus; pinna dorsali humili cum basi caudalis unita, supra aperturam branchialem incipiente, parte spinosa parte radiosa vix humiliore, spinis gracilibus osseis, parte radiosa capite breviore; pinnis pectoralibus rotundatis capite plus duplo brevioribus; anali antice in 2ª tertia corporis parte incipiente, cum basi caudalis unita; caudali rotundata postice libera; colore corpore pinnisque nigricante fusco; capite nigro punctato; mento vittis transversis flavis; pinna anali flavo marginata.

B. 6. D. 55/11. P. 12. A. 2/44. C. 14.

Synon. *Dictyosoma* H. Schl., Faun. Jap. Poiss. p. 139, tab. 73, fig. 3.
Doro negiri Japonens.

Habit. In mari prope insulam Kaminoseki.

Longitudo speciminis unici 106‴.

Aanm. De bovenstaande beschrijving, genomen naar mijn jeugdig specimen, beantwoordt nagenoeg geheel aan die van den heer Schlegel. De getallen der vinstralen schijnen bij verschillende specimina te verschillen. De Fauna Japonica geeft ze op als D. 58 9. P. 10. A. 2 43. C. 10. Hoezeer in de Fauna Japonica gezegd wordt: »on ne voit des dents qu'aux mâchoires," bezitten ploegbeen en gehemelte duidelijk waarneembare tanden. Als eene drukfout of schrijffout is blijkbaar aan te merken, dat in de Fauna Japonica

staat, dat de bekspleet reikt »jusque sous l'aplomb du bord postérieur *de l'ouie,*" voor welk laatste woord moet gelezen worden: »*de l'oeil.*" De heer Bürger vond deze soort in de baai van Simabara.

Halieutaea stellata Cuv. Poiss. XII, p. 340, tab. 366. Schl., Faun. Jap. Poiss. p. 160, tab. 72.

Halieut. corpore maxime depresso; capite disciformi latiore quam longo, circulariter rotundato; oculis diametro $7\frac{1}{2}$ circiter in longitudine capitis usque ad aperturam branchialem, diametro 1 a margine capitis anteriore remotis, diametro $1\frac{1}{2}$ circiter a se invicem distantibus; rostro a capite non distincto, medio fossa profunda pedunculo valde protractili apice trilobo; maxilla superiore valde protractili maxilla inferiore longiore; maxilla inferiore spinis cincta; rictu latitudine 3 fere in latitudine capitis; dentibus maxillis pluriseriatis parvis aequalibus; corpore parte postbranchiali triangulari, minus duplo longiore quam basi lata; capite corporeque superne marginibusque spinis simplicibus, bifidis et trifidis scaberrimo, inferne glabro; pinna dorsali obtusa, humili; pectoralibus oblique rotundatis, latitudine disci capitis plus triplo brevioribus; ventralibus oblique truncatis, longe ante pectorales insertis et pectoralibus brevioribus; anali trigona; caudali integra convexa; colore corpore pinnisque rubro.

B. 6. D. 4 simpl. P. 13 simplic. V. 6 simplic. A. 4 simplic. C. 1 simplic. + 5 divis. + 3 simplic.

Synon. *Lophius stellatus* Wahl. Act. Soc. hist. nat. Hafn. IV, I, p. 214, tab. 3, fig. 3, 4. Bl. Schn. Syst. posth. p. 142.
Lophie Faujas Lacép. Poiss. I, p. 318.
Lophius muricatus Shaw Gen. Zoöl. V, II, p. 382, tab. 162.
Diable de mer rouge du Japon Tiles. Voyag. Krusenst., tab. 61, fig. 3, 4.
Halieutée étoilée Cuv. Poiss. XII, p. 340, tab. 366.
Akaankoo Japonens.

Habit. In mari prope insulam Kaminoseki.

Longitudo 2 speciminum 100‴ et 115‴.

Aanm. Het kleinste mijner specimina is misvormd en heeft de regterhelft van de schijf veel smaller dan de linker, en alle vinnen naar het vrije einde toe zwartachtig. De afbeelding dezer soort in de Fauna Japonica is beter dan die van de groote Histoire naturelle des Poissons.

Bij mijne exemplaren kon ik de volgende anatomische bijzonderheden waarnemen.

De ruime buikholte ligt geheel tusschen de kieuwholten en eindigt spits

naar voren. Buikvlies zwart. Het darmkanaal ligt grootendeels in de regterhelft der buikholte, de lever grootendeels in de linkerhelft. Lever oranjekleurig, tweekwabbig, de regterkwab veel kleiner dan de linker. Maag cylindervormig met een' zeer kleinen blinden zak. Buitenste maagrok geheel zwart. Geene pylorus-aanhangsels. Darmkanaal veel langer dan het geheele ligchaam, resten van mollusken-schalen bevattende. Kieuwholten zeer ruim. De 4 kieuwbogen reiken niet tot aan het midden hunner holte, doch de kieuwvlies-stralen strekken zich tot nabij de borstvin uit.

FISTULARIA IMMACULATA Commers. Cuv. Règn. anim. Richards. Rep. Ichth. Chin. Jap. 15 Meet. Brit. Assoc.

Fistular. corpore maxime elongato, altitudine plus quam 30 in ejus longitudine absque filo caudali, aetate provectiore latiore quam alto; capite minus quam 3 in longitudine corporis absque filo caudali; rostro $3\frac{1}{3}$ ad $3\frac{2}{3}$ in longitudine corporis absque filo caudali, utroque latere dentibus numerosis serrato; oculis diametro 7 ad $9\frac{1}{2}$ in longitudine rostri; maxilla inferiore superiore longiore; dentibus maxillis conspicuis, conicis, acutis; orbita temporibusque serratis; squamis inconspicuis; linea laterali postice praesertim spinulis armata; pinnis dorsali et annali totis oppositis, acutis, corpore multo altioribus; pectoralibus rotundatis capitis parte postoculari brevioribus; ventralibus pectoralibus multo brevioribus; caudali biloba lobis acutis, filo medio capite longiore, colore corpore viridescente hyalino, pinnis flavescente-hyalino.

B. 7. D. 15 ad 16. P. 15 vel 16. V. 1/5. A. 14 ad 16. C. 12 + fil. med. + lat. brev.

Synon. *Goorum* Russ. Corom. Fish. II, fig. 173.
Fistularia tabaccaria White Voy. Bot. Bay p. 296, fig. 2.
Fistularia Commersonii Rüpp. N. Wirb. F. Abyss. F. R. M. p. 142?
Cannorhynchus immaculatus Cant. Cat. Mal. Fish. p. 211.
Kurbatsch Arab.
Ma peen yu vel *Ma pin* Chinens.
Ikan Djareng Mal. Batav.

Habit. In mari, prope insulam Kaminoseki (et Batavia, in mari).

Longitudo 36 speciminum 160‴ ad 520‴.

AANM. Ik bezit van deze soort 33 specimina van Batavia en 3 van Japan De Japansche hebben den snuit betrekkelijk een weinig langer dan de Bataviasche, doch komen er overigens volkomen mede overeen. De jongste specimina hebben donkere vlekjes op den rug, doch bij de oudere verdwijnen deze vlekjes allengskens. De soort is thans reeds bekend, behalve van de genoemde

plaatsen, van Pinang, Coromandel, China, Nieuw-Holland en de Roode Zee.

Cobitis rubripinnis H. Schl. Faun. Japon. Poiss. p. 221, tab. 105, fig. 1.

Cobit. corpore elongato compresso, altitudine $10\frac{1}{2}$ circiter in ejus longitudine; capite convexo 7 et paulo in longitudine corporis, duplo fere longiore quam alto; oculis diametro 7 circiter in longitudine capitis, postice in dimidio capitis anteriore sitis; rostro convexo rotundato; spina suborbitali nulla conspicua; cirris 8 vel 10, supra maxillaribus 4 et labialibus 2 oculum attingentibus, infra maxillaribus 4 vel 6 ceteris brevioribus; linea dorsali leviter convexa; squamis oculo nudo conspicuis; pinna dorsali media ventralibus opposita, corpore non humiliore, rotundata; pinnis pectoralibus acutis, longitudine caput aequantibus; ventralibus rotundatis, capite multo brevioribus; anali rotundata corpore vix humiliore; caudali rotundata 6 et paulo in longitudine corporis, radiis lateralibus brevis numerosis usque ad pinnam analem sese extendentibus et quasi pinnam suppletoriam efficientibus; colore corpore superne griseo-viridi inferne flavescente-argenteo; corpore superne toto nigricante-griseo punctato; pinnis pallide rubris, caudali griseo-nigricante punctulata.

B. 3. D. 2/7. P. 1/8. V. 1/5. A. 3/5. C. 16 et lat brev.

Synon. *Doosjoo* Japonens.

Habit. In mari, prope insulam Kaminoseki.

Longitudo speciminis unici 95'''.

Aanm. In de Fauna Japonica zijn 4 soorten van Cobitis beschreven en afgebeeld. De boven beschrevene species heeft zoo groote overeenkomst met *Cobitis rubripinnis* H. Schl., dat ik niet aarzel haar voor dezelfde te houden. Mijn specimen is aanmerkelijk kleiner dan het in de Fauna Japonica afgebeelde en de binnenste onderkaaks-voeldraden zijn er moeijelijk waarneembaar. Voorts vind ik bij mijn specimen de borstvinnen even lang als den kop, de borstvinnen aan het midden der rugvin tegenovergesteld en de vinstralen eenigzins verschillende van de formule in de Fauna Japonica (D. 7, A. 6, waaronder waarschijnlijk niet begrepen zijn de korte voorste rug- en aarsvinstralen). De soort schijnt in de zoete wateren van Japan algemeen verbreid te zijn. Volgens uitdrukkelijke verklaring van den Heer Mohnike is mijn specimen in de zee gevangen.

Ophisurus serpens Lacép. Poiss. II, p. 198. Cuv. Richards. Zoöl. V. Ereb. Terr. Fish. p. 106. H. Schl. Faun. jap. Poiss. p. 264, tab. 115, fig. 1.

Ophisur. corpore cylindraceo, maxime elongato, altitudine 50 in ejus longitudine; capite acutissimo 13 ad 14 in longitudine corporis, plus triplo lon-

giore quam alto; oculis diametro 10 circiter in longitudine capitis; rostro gracili acuto, oculo plus duplo longiore et plus triplo longiore quam basi lato et alto, apice deorsum curvato, clavato; rictu latissimo longe post oculos producto, dimidiam capitis longitudinem efficiente; maxilla inferiore superiore breviore; dentibus maxillaribus vomerinisque postrorsum spectantibus, acutis, maxillaribus lateralibus anticis uniseriatis, posticis biseriatis serie externa majoribus; maxillis antice caninis aliquot magnis; vomere antice caninis pluribus magnis, postice dentibus uniseriatis mediocribus; genis regioneque postmaxillari poris conspicuis notatis; naribus labiis paulo ante oculum perforatis non tubulatis; corpore laevi squamis inconspicuis; linea poris distantibus lineae laterali maxime approximata eaeque parallela; pinna dorsali dimidia capitis longitudine post caput incipiente, antice corpore plus duplo, postice corpore minus duplo humiliore, apicem caudae versus desinente et ibi pinna dorsali cetera altiore; pectoralibus rotundatis 6 in longitudine capitis; anali antice in 4ª octava parte corporis longitudinis incipiente, dorsali altiore, postice emarginata sed apicem versus parte ejus media non humiliore, radio postico radio dorsali postico opposita; colore corpore superne fuscescente-viridi, inferne argenteo vel margaritaceo; pinnis viridibus, dorsali fusco marginata.

Synon. *Serpens marinus* Salviani Aquat. tab. 57. Ionst. Pisc. tab. 4, fig. 5.
Ophis balatrios Salviani Aquat. tab. 57.
Muraena serpens L. Syst. nat. ed. Gmel. p. .
Ophisure serpent Lacép. Poiss. II, p. 198.
Murène serpent sans tache Daubent. Encyclop. méth.
Ophisurus rostratus QG. Voy. de Freycin. tab. 51, fig. 1?

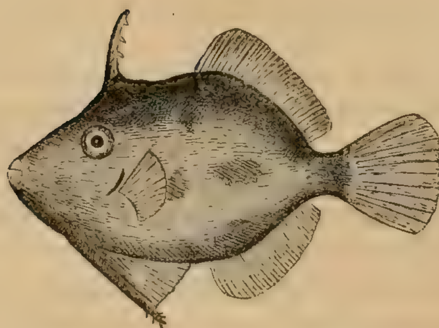
Habit. In mari prope insulam Kaminoseki.

Longitudo speciminis unici 1380‴.

Aanm. Bij gebrek aan goede beschrijvingen en Europesche exemplaren van Ophisurus serpens Lac. is het mij niet mogelijk te beslissen of de boven beschrevene species inderdaad Ophisurus serpens is. Ik neem deze identiteit aan op het gezag van den heer Schlegel, wiens Ophisurus serpens volkomen overeenkomt met mijn specimen. Ten opzigte der groote voorste kaak- en ploegbeenstanden is aan te teekenen, dat hun aantal waarschijnlijk naar de individu's en leeftijden verschilt, vermits zich bij mijn specimen behalve de groote vaststaande tanden eenige groote tanden vertoonen, welke zich ligtelijk laten verwijderen.

Monacanthus Komuki Blkr. fig. 1.

Fig. 1.



Monac. corpore oblongo compresso; diametro dorso-anali $2\frac{1}{3}$ in longitudine corporis; latitudine corporis $3\frac{1}{2}$ in diametro dorso-anali; capite acuto $3\frac{3}{4}$ in longitudine corporis, multo altiore quam longo; oculis diametro 3 in longitudine capitis; linea rostro-frontali concaviuscula; rostro acuto oculo duplo longiore; dentibus utraque maxilla 6 acutis, apice obliquis vel emarginatis, dentibus maxilla superiore externis autem rotundatis; apertura branchiali ante angulum superiorem pinnae pectoralis desinente; squamis minimis spinulis fere inconspicuis scabris; cauda nec spinosa nec setosa, tactu vix scabra; spina dorsali supra oculi partem posteriorem inserta, rostro non longiore, crassa, postice dentibus magnis armata; pinnis radio producto nullo; dorsali et anali rotundatis diametro dorso-anali quadruplo circiter humilioribus radiis omnibus simplicibus; pectoralibus obtusis convexis; ventrali triangulari, squamis spinulosis scabra, margine posteriore convexo, spina 1ª pinnam superante postice et apice valde dentata, radiis ceteris suboccultis; caudali convexa $4\frac{1}{2}$ in longitudine corporis; corpore griseo fuscescente nebulato; pinnis viridi- vel griseo-hyalinis.

D. 1—32. P. 15. A. 31. C. 12.

Synon. *Koomuki* Japonens.

Habit. In mari prope insulam Kaminoseki.

Longitudo speciminis unici 67‴.

Aanm. Deze soort heeft groote verwantschap met Monacanthus choirocephalus Blkr., beschreven en afgebeeld in mijne *Bijdrage tot de kennis der Balistini en Ostraciones van den Indischen Archipel,* doch onderscheidt er zich van, behalve door een grooter aantal vinstralen, door stomper profiel van den kop, dikkeren rugdoorn, beter waarneembare huiddoorntjes, bollen achterrand der

buikvin en afwezigheid van dwarsche staartvinbanden, verschillen, welke voornamelijk in het oog vallen bij vergelijking van exemplaren van beide soorten van gelijke grootte.

Het komt mij voor, dat in de Fauna Japonica het artikel Monacanthus cirrhifer over twee soorten handelt en niet over twee geslachts-verscheidenheden eener zelfde species. De boven beschrevene soort schijnt mij toe te behooren tot die geslachts-verscheidenheid van Monacanthus cirrhifer van den heer Schlegel, welken hij kenmerkt als te bezitten noch draadvormigen 2^{n} rugvinstraal, noch vrije staartschubben.

Ostracion stictonotus H. Schl. Faun. Jap. Poiss. p. 297, tab. 151, fig. 5.

Ostrac. pyxide hexagona, altitudine maxima $1\frac{3}{4}$ ad $2\frac{2}{3}$ in longitudine totius corporis, altiore quam lata; dorso plano; ventre convexo dorso latiore; capite $3\frac{1}{4}$ ad 4 in longitudine totius corporis, multo altiore quam longo; oculis diametro $2\frac{1}{3}$ ad $2\frac{1}{2}$ in longitudine capitis; fronte inter oculos depressa; orbitis superne processu conico obtuso; linea rostro-frontali valde declivi rectiuscula; rostro oculo altiore; apertura pyxidis antica oculo minore; ore antico, ante rostrum prominente; dentibus utraque maxilla 8 vel 10 conicis aequalibus; scutis pyxide pentagonis et hexagonis, lateribus dorsoque cristis diagonalibus radiatis; spinis, aetate provectiore, carina dorsali unica magna, carina laterali 4 vel 5 postica ceteris majore, carina ventrali 5 ad 6; cauda superne et inferne scabra; pinnis obtusis convexis sub flabelliformibus; colore corpore pinnisque flavescente-rufo; dorso lateribusque maculis rotundis nigricantibus; ventre vulgo flavo guttulato.

D. 1/10. P. 2/10. A. 1/9. C. 2/10/4 vel 1/9/1 vel 2/8/1.

Habit. In mari prope insulam Kaminoseki.

Longitudo 4 speciminum 50‴ ad 110‴.

Bij mijn kleinste specimen zijn de doornen des ligchaams nog slechts in den vorm van stompe kegelvormige uitsteeksels aanwezig, doch de soortkenmerken overigens zeer duidelijk.

Ostracion turritus Forsk. Descript. animal. p. 75, N°. 15. Bloch Ausl. Fisch. tab. 136.

Deze soort is in de Fauna Japonica niet vermeld en voor de Fauna van Japan als nieuw te beschouwen. Ik bezit er een klein exemplaar van, gevangen bij het eilandje Kaminoseki en slechts eene lengte hebbende van 66 millimeters.

Een ander grooter specimen mijner verzameling vond ik te Batavia, en is beschreven in mijne *Bijdrage tot de kennis der Balistini en Ostraciones van den*

Indischen Archipel, opgenomen in het 24e Deel der *Verhandelingen van het Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen.*

HIPPOCAMPUS MOHNIKEI Blkr. fig. 2.

Fig. 2.



Hippoc. corpore heptagono, altitudine maxima 6 in totius piscis longitudine, latitudine 2 in ejus altitudine; cauda tetragona; capite 5 in longitudine corporis ab occipite usque ad apicem caudae; rostro oculo duplo longiore, capitis parte postoculari paulo breviore, altiore quam lato, nec cornuto, nec cirrato; oculis diametro 5½ circiter in longitudine capitis; orbita superne tuberculo unico conico non clavato; occipite in processum compressum tuberculatum exeunte; operculis striatis; pyxide corporis ex annulis 10 vel 11 formata, cristis plus minusve tuberculatis, tuberculis nec ramosis nec fimbriatis, cristis dorsalibus tuberculis 2 conicis majoribus, cristis lateralibus humilibus; crista ventrali media valde prominente; cauda annulis 34 vel 35, carinis tuberculis conicis brevibus non fimbriatis; pinnis dorsali pectoralibusque rotundatis; colore corpore nigro; cauda fasciis 5 latis albis caudam superne lateribusque cingentibus; pinna dorsali viridescente vittis 2 longitudinalibus nigricantibus.

D. 13. P. 12 vel 13. A.?

Habit. In mari prope insulam Kaminoseki.

Longitudo speciminis unici 60‴.

AANM. Hippocampus Mohnikei heeft in habitus het meest van Hippocampus fuscus Rüpp. van de Roode Zee en van Hippocampus brevirostris Cuv. van den Atlantischen Oceaan, doch is gemakkelijk herkenbaar aan de witte breede staartbanden. Mijn specimen laat geene aarsvin waarnemen en heeft een grooten embryozak achter den anus, geheel gevuld met goed herkenbare embrya van 5 tot 8 millimeters lengte. In de Fauna Japonica wordt deze soort niet vermeld, maar het zou wel mogelijk zijn, dat de daar als Hippocampus brevirostris vermelde species dezelfde is als de boven beschrevene.

Scripsi *Batavia* Calendis Decembris
MDCCCLI.

OVER DE THEORIE

DER

MAGNETISCHE KRACHTLIJNEN

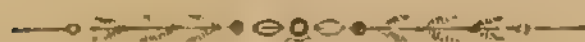
VAN

F A R A D A Y.

DOOR

R. VAN REES.

Uitgegeven door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.



AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.
1853.

GEDRUKT BIJ W. J. KRÖBER.

OVER DE THEORIE

DER

MAGNETISCHE KRACHTLIJNEN

VAN

FARADAY,

DOOR

R. VAN REES.

Gelijk in de leer van het licht twee hypothesen, die der emissie en der undulatie, langen tijd vijandig tegenover elkander gestaan hebben, elke voor zich de bekende lichtverschijnselen op eene voldoende wijze verklarende, zoodat het moeijelijk te beslissen viel, welke van beide de ware mogt zijn, tot dat eindelijk de ontdekking der interferentie en polarisatie van het licht het pleit beslechtte, en aan de laatste de overwinning toekende; zoo vindt men thans nog eenen dergelijken strijd op het gebied van het magnetismus. De hypothese der twee magneetstoffen, door COULOMB tot duidelijkheid gebragt, later door POISSON met behulp der hoogere wiskunde verder ontwikkeld, heeft na de ontdekking van het electro-magnetismus eene mededingster gevonden in de hypothese van AMPÈRE, die het bestaan dier vloeistoffen ontkent, en in hare plaats electrische, de kleinste deeltjes des ijzers en staals omgevende stroompjes aanneemt. Deze hypothese moge aanvankelijk vreemd schijnen; zij heeft echter te regt hooge belangstelling gewekt, daar zij niet alleen voor het magnetismus tot dezelfde uitkomsten leidt als die van COULOMB, maar tevens de magnetische, electro-magnetische en electro-dynamische verschijnselen met eenen gemeenschappelijken band omslingert. De ontdekking van het

diamagnetismus schijnt weldra eene eindbeslissing ten voordeele dezer hypothese te zullen aanbrengen.

Intusschen treedt, nevens deze beide voorstellingswijzen van het magnetismus, eene derde op, door den beroemden FARADAY verdedigd. De magnetische vloeistoffen zoowel als de moléculair-stroomen van AMPÈRE ter verklaring der magnetische verschijnselen onnoodig achtende, neemt FARADAY de *magnetische krachtlijnen*, die elk magnetisch ligchaam omgeven, als grondslag zijner beschouwing aan. Door dien naam bedoelt hij de lijnen, welke eene kleine magneetnaald beschrijft wanneer zij zoo wordt voortbewogen, dat hare rigting steeds eene raaklijn is aan de bewegingslijn. De sints lang bekende figuren, door ijzervijlsel op een papier gevormd, dat boven een' magneet gehouden wordt, stellen de magnetische krachtlijnen in het vlak van het papier aanschouwelijk voor. Niet alleen de rigting, maar ook de sterkte der magnetische kracht wordt volgens FARADAY door deze lijnen aangegeven. Hij meent, dat men bij de verklaring der magnetische verschijnselen van deze lijnen behoort uit te gaan; ja hij ontveinst niet, dat eene onmiddelijke werking op afstand, welke in de beide andere hypothesen wordt aangenomen, hem onwaarschijnlijk voorkomt, en hij veeleer geneigd is, zich de magneetkracht voor te stellen als voortgeplant wordende door eenige middenstof, gelijk het licht en de stralende warmte, waarbij dan de magnetische krachtlijnen de rigtingslijnen der voortplanting zijn zullen.

In het vorige jaar verscheen, als voortzetting der proefondervindelijke onderzoekingen, welke wij aan dien onvermoeiden geleerde verschuldigd zijn, eene opzettelijke verhandeling over dit onderwerp. * Hij stelt zich daarin ten doel, zijne voorstelling van het magnetismus aan de waarneming te toetsen.

De magnetische krachtlijnen kunnen erkend worden, hetzij door hare werking op de magneetnaald, hetzij door den inductiestroom, dien zij in eenen geleiddraad, welke dwars door die lijnen wordt heen gevoerd, doen ontstaan. FARADAY gebruikt dit laatste middel van onderzoek als meer algemeen aanwendbaar, en meer geschikt om tot nieuwe resultaten te leiden. Hij gaat dus proefondervindelijk de inductie na, door eenen magneet of ook door het aardmagnetismus op bewogene draden uitgeoefend, en verkrijgt aldus bepaalde uitkomsten, wier overeenstemming met zijn begrip van het wezen der magneet-

* Philos. Transact. 1852. p. 25 en 137. In eene latere verhandeling, Phil. Magazine 4[th] Series, Vol. 3, p. 401, heeft FARADAY de gronden ontwikkeld, die voor het *physische* bestaan der krachtlijnen pleiten.

kracht hem toeschijnt, den voorrang te wettigen, dien hij daaraan toekent.

Tot eene juiste beoordeeling van de betrekkelijke waarde dezer nieuwe theorie is vooral noodig, dat onderzocht worde, of de grondwet der inductie, naar aanleiding der vroegere hypothesen door WEBER vastgesteld, niet eene even volledige verklaring der door FARADAY medegedeelde feiten oplevert. Indien dit toch het geval mogt zijn, zal zijn laatste arbeid niet als bewijs tegen die hypothesen kunnen worden aangevoerd, en men zal naar andere gronden moeten uitzien, om tusschen deze en de theorie van FARADAY eene keus te doen. Ik deel hier de uitkomsten van het onderzoek mede, met dit doel door mij in het werk gesteld.

Het zal onnoodig zijn al de proeven van FARADAY in dit onderzoek op te nemen, te meer daar het later blijken zal, dat ook de meer algemeene stellingen, waarin hij zijne theorie zamenvat, uit de bekende wet der inductie als noodwendige gevolgen voortvloeijen. Ik bepaal mij dus tot de twee voornaamste reeksen van proeven, bevat in art. 3084—3099 en 3192—3202, als zijnde diegenen, op welke hij zich tot staving zijner voorstelling voornamentlijk beroept.

De inrigting der proeven van de eerste reeks was de volgende. Twee staalmagneten, elk 12 Eng. duim lang, 1 duim breed en 0,4 duim dik, waren op den afstand van $\frac{1}{15}$ duim met de breede zijden naast elkander geplaatst, de gelijknamige polen naar denzelfden kant gekeerd; zij werkten dus te zamen als één magneet, en konden om de gemeenschappelijke as rondgedraaid worden. Een geleiddraad, welke bij eene pool ingaande, in de opengelaten sleuf langs die as geleid werd, trad aan het middelpunt in het equatoriale vlak naar buiten en keerde dan buiten den magneet om, over de pool terug tot nabij het beginpunt op de verlengde as. De einden van den draad waren verbonden met eenen galvanometer, dienende om de rigting en sterkte des ontstanen inductiestrooms te bepalen. — Somwijlen bestond de draad uit drie gedeelten: het in de as gelegene gedeelte; het hierop loodregte gedeelte, dat zich in het equatoriale vlak uitstrekte van de as tot eenen koperen ring, die den magneet omgaf; eindelijk het van dien ring terugkeerende gedeelte buiten den magneet. Elk dezer deelen konde, zonder dat de onderlinge aanraking verbroken werd, afzonderlijk of in verbinding met de overige rondgedraaid worden. Enkele malen werd ook, met weglating van het axiale en het equatoriale gedeelte, de magneet zelve in de geleiding opgenomen.

Wanneer men de verschillende proeven, door FARADAY met dezen toestel

genomen, naauwkeurig nagaat, blijkt het spoedig, dat hare uitkomsten in weinige stellingen kunnen zamengevat worden; vooral indien men in aanmerking neemt, dat de inducerende kracht eens magneets op een' geleiddraad alleen afhangt van hunne *betrekkelijke* beweging ten opzigte van elkander, zoodat het geheel onverschillig is, of de geleider zich in ééne rigting, of wel de magneet in tegengestelde rigting beweegt, mits de betrekkelijke beweging in beide gevallen dezelfde zij. Dit beginsel, dat door alle vroegere proeven omtrent inductie bewezen is, wordt op nieuw door die van Faraday bevestigd, gelijk onder anderen uit art. 3091 en 3097 blijkt. Een onmiddelijk gevolg hiervan is, dat wanneer de geleiddraad en de magneet te gelijk om dezelfde as rondwentelen, er geen inductiestroom ontstaat (3092, 3093). Voorts kan men, uit kracht van dit beginsel, wanneer de magneet alleen in beweging was, dezen in rust vooronderstellen, en de beweging in tegengestelden zin aan den draad toekennen. Eveneens zal, wanneer de magneet met een gedeelte des draads bewogen werd, de beweging aan het overige gedeelte des draads kunnen worden toegeschreven. Wij vooronderstellen dus den magneet steeds in rust; den draad, hetzij geheel of gedeeltelijk, in beweging. De stellingen, uit de proeven van Faraday af te leiden, zijn dan de volgende:

1) Bij de rondwenteling eens gesloten draads om de as eens magneets ontstaat geen inductiestroom (3094).

2) Evenmin ontstaat een inductiestroom, wanneer een gedeelte des draads, dat in de as des magneets gelegen is, alleen wordt rondgedraaid, het overige gedeelte in rust zijnde (3095, 3096).

3) Wanneer een gedeelte des draads, zich uitstrekkende van een punt op de verlengde as des magneets tot aan zijne oppervlakte in het equatoriale vlak, om de as des magneets rondwentelt, ontstaat in den draad een stroom. (3097, 3098).

4) De sterkte van dezen stroom is onafhankelijk van de lengte en den vorm van het bewogen gedeelte des draads (3099, 3107).

Wij gaan thans over tot de toepassing van de door Weber vastgestelde grondwet der magneto-inductie op het hier voorkomende vraagstuk. Zij daartoe:

μ eene hoeveelheid magneetstof, in een punt opgehoopt. *

∂s een element des bewogen draads.

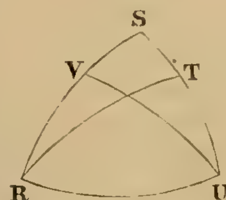
* Kortheidshalve zullen wij voortaan eene zoodanige hoeveelheid magneetstof een *magneetdeeltje* noemen. Het wordt als positief of negatief beschouwd, naarmate het Noord- of Zuid-magneetstof is.

u de snelheid der beweging van ∂s.
r de afstand van μ en ∂s.
θ de hoek van r en ∂s.
ψ de hoek, dien de rigting van u (de bewegings-rigting van ∂s) met de normaal op het vlak van r en ∂s maakt.
∂e de elektromotorische kracht, door μ op ∂s uitgeoefend in de rigting van dat element.

Zoo is de grondwet der magneto-inductie bevat in de vergelijking: *

$$\partial e = \frac{\mu u \partial s}{r^2} Sin.\ \theta\ Cos.\ \psi \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Men kan aan deze vergelijking eenen voor de volgende toepassingen meer doelmatigen vorm geven. Daartoe legge men door het middelpunt eener willekeurige sfeer drie regten in de rigtingen van r, van ∂s en van u. Zij R, S, U de punten, in welke die regten de oppervlakte der sfeer ontmoeten; RT en UV de bogen, uit R en U loodregt op de tegenover gestelde zijden des sferischen driehoeks RSU neergelaten, zoo is volgens eene bekende eigenschap der sferische driehoeken



$$Sin.\ RS\ Sin.\ UV = Sin.\ US\ Sin.\ RT.$$

Hierin is $RS = \theta$, $UV = 90^\circ - \psi$. Noemt men verder:
φ den hoek van ∂s en u
χ den hoek, dien r maakt met de normaal op het vlak van ∂s en u, zoo is:

$$US = \varphi,\ RT = 90^\circ - \chi.$$

Derhalve is:

$$Sin.\ \theta\ Cos.\ \psi = Sin.\ \varphi\ Cos.\ \chi.$$

en hierdoor gaat de vergelijking (1) over in:

$$\partial e = \frac{\mu u \partial s}{r^2} Sin.\ \varphi\ Cos.\ \chi \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

---

* WEBER, Elektrodynamische Maassbestimmungen. 1846, p. 136. Duidelijker in zijne tweede verhandeling, Abhandl. der Math. Phys. Classe der Kön. Sachs. Gesellschaft. I. 361.

Deze vergelijking is nog slechts tot één inducerend magneetdeeltje betrekkelijk; zij kan echter zonder moeite tot een willekeurig aantal magneetdeeltjes, dat is, tot één of meer inducerende magneten uitgestrekt worden. Men behoeft daartoe die vergelijking slechts op elk der Noord- of Zuid-magneetdeeltjes, in de magneten aanwezig, toe te passen, en de som van de aldus ontstane vergelijkingen te nemen. Bij deze summatie, welke door het teeken S moge aangeduid worden, zijn u, ∂s en Sin. φ constant, en men vindt dus:

$$S \partial e = u \partial s \, Sin. \, \varphi \; S. \frac{\mu}{r^2} \, Cos. \, \chi \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Nu is $\frac{\mu}{r^2}$ de magnetische, aantrekkende of afstootende, kracht, door μ op den afstand r, dus op de plaats van ∂s, uitgeoefend op de eenheid van Noord-magneetstof. Derhalve is $\frac{\mu}{r^2}$ Cos. χ de composante van de magnetische kracht van μ in de rigting der normaal op het vlak van ∂s en u, en S. $\frac{\mu}{r^2}$ Cos. χ de som der composanten van de krachten van al de aanwezige magneetdeeltjes in dezelfde rigting. Noemt men dus:

R de magnetische kracht op de plaats waar zich ∂s bevindt, dat is de resultante van de krachten, door al de aanwezige magneetdeeltjes op de eenheid van Noord-magneetstof in die plaats uitgeoefend,

ε den hoek, dien R maakt met de normaal op het vlak van ∂s en u,

zoo is

$$S \frac{\mu}{r^2} \, Cos. \, \chi = R \, Cos. \, \varepsilon.$$

Het eerste lid van (3) is de geheele elektromotorische kracht der inductie van al de aanwezige magneetdeeltjes op het draadelement ∂s. Drukt men deze kracht uit door ∂E, zoo is $S\partial e = \partial E$, en men heeft

$$\partial E = R u \partial s \, Sin. \, \varphi \, Cos. \, \varepsilon \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

welke vergelijking nu op alle voorkomende gevallen toepasselijk is, hoedanig ook het getal en de ligging der inducerende magneten zijn mogen. Die toepassing vereischt alleen, dat men de rigting en sterkte der kracht R in elk punt der omgevende ruimte kenne.

Om nu verder uit (4) de elektromotorische kracht af te leiden, door de

inductie opgewekt in een eindig gedeelte des geleiddraads, dat in het magnetische veld bewogen wordt, moet die vergelijking ten opzigte van dat gedeelte des draads geïntegreerd worden. Hiertoe is echter noodig, dat vooraf de daarin voorkomende grootheden tot vaste coördinaatassen worden teruggebragt.

Men legge dus door een vast punt drie regthoekige assen der coördinaten. Zij

x, y, z de coördinaten van ∂s,

X, Y, Z de composanten van R,

δs de door ∂s in den oneindig kleinen tijd δt doorloopen weg, zoodat $\delta s = u \delta t$,

$\delta x, \delta y, \delta z$ de projectiën van δs op de assen,

zoo zijn de rigtingscosinussen van ∂s en van δs of u:

$$\frac{\partial x}{\partial s}, \quad \frac{\partial y}{\partial s}, \quad \frac{\partial z}{\partial s},$$

$$\frac{\delta x}{\delta s}, \quad \frac{\delta y}{\delta s}, \quad \frac{\delta z}{\delta s},$$

dus de rigtingscosinussen der normaal op het vlak van ∂s en u *

$$\frac{\frac{\delta y}{\delta s}\frac{\partial z}{\partial s} - \frac{\delta z}{\delta s}\frac{\partial y}{\partial s}}{Sin.\ \varphi}, \quad \frac{\frac{\delta z}{\delta s}\frac{\partial x}{\partial s} - \frac{\delta x}{\delta s}\frac{\partial z}{\partial s}}{Sin.\ \varphi}, \quad \frac{\frac{\delta x}{\delta s}\frac{\partial y}{\partial s} - \frac{\delta y}{\delta s}\frac{\partial x}{\partial s}}{Sin.\ \varphi}$$

en dewijl $\frac{X}{R}, \frac{Y}{R}, \frac{Z}{R}$ de rigtingscosinussen der magnetische kracht R zijn, wordt

$$Cos.\ \varepsilon = \frac{X\left(\frac{\delta y}{\delta s}\frac{\partial z}{\partial s} - \frac{\delta z}{\delta s}\frac{\partial y}{\partial s}\right) + Y\left(\frac{\delta z}{\delta s}\frac{\partial x}{\partial s} - \frac{\delta x}{\delta s}\frac{\partial z}{\partial s}\right) + Z\left(\frac{\delta x}{\delta s}\frac{\partial y}{\partial s} - \frac{\delta y}{\delta s}\frac{\partial x}{\partial s}\right)}{R\ Sin.\ \varphi}$$

Stelt men deze waarde van Cos. ε en die van $u = \frac{\delta s}{\delta t}$ in (4), zoo ver-

* Duhamel, Cours de Mécanique, I. 9, waar echter in de formules op p. 10, eene drukfout is. Aldaar moet Sin. V in $\frac{1}{\text{Sin. V}}$ veranderd worden.

krijgt men

$$\partial E = X\left(\frac{\delta y}{\delta t}\partial z - \frac{\delta z}{\delta t}\partial y\right) + Y\left(\frac{\delta z}{\delta t}\partial x - \frac{\delta x}{\delta t}\partial z\right) + Z\left(\frac{\delta x}{\delta t}\partial y - \frac{\delta y}{\delta t}\partial x\right)$$

of wel:

$$\partial E = \frac{\delta x}{\delta t}(Z\partial y - Y\partial z) + \frac{\delta y}{\delta t}(X\partial z - Z\partial x) + \frac{\delta z}{\delta t}(Y\partial x - X\partial y) \qquad (5)$$

Deze vergelijking, waarin $\frac{\delta x}{\delta t}, \frac{\delta y}{\delta t}, \frac{\delta z}{\delta t}$ de composanten der snelheid u beteekenen, heeft dezelfde algemeenheid als (4). Zij is steeds toepasselijk, op welke wijze ook de magnetische kracht R zich rondom de inducerende magneten uitbreidt.

De eenvoudigste wijze van uitbreiding dier kracht heeft plaats, wanneer slechts één magneet aanwezig is, en deze een' cylindrischen vorm heeft. In dat geval valt de rigting der kracht in elk punt steeds in het meridiaanvlak, door dat punt en de as des magneets gelegd; voorts is de uitbreiding der kracht dezelfde in alle meridiaanvlakken, zoodat, indien men de as des magneets als as der x aanneemt, en door p de loodlijn aanduidt, uit het punt x, y, z op de as neêrgelaten, de kracht R in dat punt steeds ontbonden kan worden in twee composanten X en $P = \sqrt{Y^2 + Z^2}$, de eerste evenwijdig aan de as der x, de tweede daarop loodregt, en beide functiën van x en p alleen.

De magneet, van welken Faraday zich bediende, was niet cylindrisch; hij bestond uit twee smallere magneten, op geringen afstand van elkander geplaatst, en te zamen een' magneet van bijna vierkante doorsnede uitmakende, met eene sleuf in het midden. Echter kan zijne werking naar buiten weinig verschild hebben van dien eens cylindrischen magneets. Faraday zelf beweert (3100), dat zijne twee magneten juist werkten als één centrale magneet, in en rondom welken de magnetische kracht op de eenvoudigste en meest regelmatige wijze verdeeld was. Wij houden ons dus geregtigd, om bij de verdere berekening aan die verbreiding de hierboven voor een' cylindrischen magneet aangegevene eigenschappen toe te kennen.

Vervangt men nu voor elk punt x, y, z de regthoekige coördinaten y en z door de polaire p en ω, welke laatste de hoek is, dien het meridiaanvlak, door het punt gelegd, met het vlak der xy maakt, dan is:

$$y = p \; Cos. \; \omega \qquad Y = P \; Cos. \; \omega$$

$$z = p \; Sin. \; \omega \qquad Z = P \; Sin. \; \omega \; .$$

Daar de draad niet noodwendig in één meridiaanvlak gelegen is, zijn langs den draad x, p, ω veranderlijk, dus

$$\partial y = Cos. \; \omega \partial p - p \; Sin. \; \omega \partial \omega$$

$$\partial z = Sin. \; \omega \partial p + p \; Cos. \; \omega \partial \omega \; .$$

Bij de proeven van FARADAY bestond de beweging des draads steeds in eene rondwenteling om de as des magneets, zoodat de coördinaten x en p van het element ∂s constant waren, en alleen ω veranderde. Men heeft dus

$$\frac{\delta x}{\delta t} = o \qquad \frac{\delta y}{\delta t} = - p \; Sin. \; \omega \frac{\delta \omega}{\delta t} \qquad \frac{\delta z}{\delta t} = p \; Cos. \; \omega \frac{\delta \omega}{\delta t} .$$

Stelt men deze waarden in (5), zoo gaat die vergelijking over in:

$$\partial E = (P \partial x - X \partial p) \, p \, \frac{\delta \omega}{\delta t} .$$

Bij de integratie langs den draad is de angulaire snelheid $\frac{\delta \omega}{\delta t}$ constant. Men verkrijgt dus

$$E = \frac{\delta \omega}{\delta t} \int (P p \partial x - X p \partial p) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Ligt het bewogene gedeelte des draads in de as, dan is op dat gedeelte, tot hetwelk de integratie zich dan alleen uitstrekt, $p = o$, dus $E = o$, overeenkomstig met 2) p. 6.

Men weet verder, dat de differentiaal-formule onder het integraalteeken eene volledige differentiaal eener functie van x en p is, wanneer de coëfficienten Pp en $-Xp$ voldoen aan de voorwaarden

$$\frac{\partial (Pp)}{\partial p} = \frac{\partial (-Xp)}{\partial x} ,$$

welke na ontwikkeling wordt:

$$\frac{P}{p} + \frac{\partial P}{\partial p} + \frac{\partial X}{\partial x} = o \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Nu kan gemakkelijk aangetoond worden, dat in het hier behandelde geval die voorwaarde vervuld is. Want dewijl de aantrekkende en afstootende magnetische krachten in omgekeerde reden van het kwadraat des afstands werken, zijn daarop de stellingen toepasselijk, door Gauss voor die krachten bewezen, en is derhalve *

$$\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} = o \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Nu is

$$Y = \frac{y}{p} P \quad , \quad Z = \frac{z}{p} P$$

dus

$$\frac{\partial Y}{\partial y} = \left(\frac{1}{p} - \frac{y}{p^2}\frac{\partial p}{\partial y}\right) P + \frac{y}{p}\frac{\partial P}{\partial y}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial z} = \left(\frac{1}{p} - \frac{z}{p^2}\frac{\partial p}{\partial z}\right) P + \frac{z}{p}\frac{\partial P}{\partial z}$$

Maar $p^2 = y^2 + z^2$, dus $\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{y}{p}, \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{z}{p}$, zoodat

$$\frac{\partial Y}{\partial y} = \frac{z^2}{p^3} P + \frac{y}{p}\frac{\partial P}{\partial y}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial z} = \frac{y^2}{p^3} P + \frac{z}{p}\frac{\partial P}{\partial z}.$$

Voorts is P eene functie van x en p, dus

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial P}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{y}{p} \cdot \frac{\partial P}{\partial p}$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\partial P}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{z}{p} \cdot \frac{\partial P}{\partial p}.$$

Hierdoor wordt

$$\frac{\partial Y}{\partial y} = \frac{z^2}{p^3} P + \frac{y^2}{p^2}\frac{\partial P}{\partial p}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial z} = \frac{y^2}{p^3} P + \frac{z^2}{p^2}\frac{\partial P}{\partial p}$$

* Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins in 1839, p. 6.

Deze waarden in (8) invoegende, vindt men

$$\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{P}{p} + \frac{\partial P}{\partial p} = o$$

welke vergelijking identisch is met (7).

Wij besluiten hieruit, dat de integraal $\int (Pp\partial x - Xp\partial p)$ in (6) steeds eene functie is der coördinaten x en p, waaruit onmiddelijk volgt dat, welke ook de vorm en lengte des draads zij, de waarde der integraal genomen langs den geheelen omvang des draads $= o$ is, omdat het begin- en eindpunt der integratie dan ineenvallende, de coördinaten x en p aan beide grenzen dezelfde zijn. Derhalve is dan ook volgens (6) de electromotorische kracht der inductie voortdurend $= o$, en er ontstaat geen stroom. Ditzelfde is, volgens stelling 1) p. 6, door Faraday gevonden.

Indien slechts een gedeelte des draads bewogen wordt, strekt de integraal in (6) zich ook slechts over dat gedeelte uit. De electromotorische kracht E verkrijgt dan in het algemeen eene eindige waarde, die echter alleen afhangt van de coördinaten van het begin- en eindpunt van dat gedeelte. Nu werd door Faraday deze kracht zelve niet gemeten, maar de uitslag der naald waargenomen, en deze (of juister de *Sinus* van den halven uitslagshoek) is evenredig aan de hoeveelheid electriciteit, welke gedurende de beweging des draads door den galvanometer vloeit; mits, gelijk bij zijne proeven plaats had, deze beweging veel korter duurt dan de slingertijd der naald. Zij nu S de stroomsterkte, W de weêrstand des geheelen draads (daaronder die des galvanometerdraads begrepen), dan is volgens de wet van Ohm

$$S = \frac{E}{W}$$

De hoeveelheid electriciteit, in den tijd δt door elke dwarssnede der keten vloeijende, is $= S\delta t$. Dit integrerende van het begin tot het einde der beweging, verkrijgt men de geheele hoeveelheid electriciteit, waaraan de uitslag der naald evenredig is. Zij is dus, indien deze integratie ter onderscheiding door het teeken Σ wordt aangeduid:

$$\Sigma\, S\delta t = \frac{\Sigma\, E\delta t}{W}$$

of wel, voor E hare waarde (6) stellende, en over eene geheele omwenteling, dat is van $\omega = o$ tot $\omega = 2\pi$, integrerende:

$$\Sigma\, S \partial t = \frac{2\pi}{W} \int (P p \partial x - X p \partial p)$$

Faraday gebruikte bij deze proeven eenen galvanometer van Rumkorff met zeer lang en dun draad, welks weêrstand dien der bewogene draden zoo zeer overtrof, dat deze laatste buiten aanmerking gelaten, en W bij de proeven met verschillende draadlengten genomen als constant mag beschouwd worden. Dan wordt echter $\Sigma\, S \partial t$ evenredig aan $\int (P p \partial x - X p \partial p)$. Maar wij vonden dat de waarde dier integraal alleen afhangt van de coördinaten van het begin- en eindpunt van het bewogene gedeelte des draads, zoodat ook hier de theorie geheel overeenstemt met de uitkomst der proeven van Faraday in stelling 3) en 4) p. 6.

In de tweede reeks van proeven, die wij te beschouwen hebben, geschiedde de inductie door het aardmagnetismus. Een geleiddraad, in den vorm eens regthoeks gebogen, was draaibaar om eene horizontale as, die door het midden van twee tegengestelde zijden des regthoeks ging en loodregt op den magnetischen meridiaan geplaatst werd. De uiteinden des draads waren op de as zeer nabij elkander gebragt, en met eenen galvanometer, ditmaal met kort en dik draad, verbonden. De draad, welks vlak aanvankelijk loodregt op de rigting der aard-magneetkracht stond, werd nu 180° om de as rondgedraaid en de uitslag der naald waargenomen. Nog was een commutator aangebragt, welke den inductiestroom, die in den draad na elke halve omwenteling van rigting veranderde, in dezelfde rigting naar den galvanometer voerde, en dus toeliet, dat de draaijing gedurende eenige omwentelingen werd voortgezet.

Uit deze proeven bleek, dat wanneer dezelfde lengte van hetzelfde draad in regthoeken van verschillende afmetingen, en dus van ongelijken inhoud, gebogen werd, de uitslag der naald evenredig was aan dien inhoud. Werden daarentegen regthoeken van dezelfde afmetingen, maar uit draad van verschillende dikte bestaande, beproefd, zoo openbaarde zich bij dezen galvanometer de invloed van den weêrstand der draden, daar de dikkere eenen grooteren uitslag gaven.

De toepassing van de wet der magneto-inductie op het hier voorkomende geval is reeds vroeger door anderen gemaakt; zelfs heeft WEBER eene maat der electromotorische krachten voorgesteld, gegrond op de inductie, die het aard-magnetismus op eenen rondwentelenden draad uitoefent. * Daar echter de toepassing der vergelijking (5) hier zeer eenvoudig is, meenen wij ze niet te moeten terug houden.

Zij A de aard-magneetkracht. Men plaatse den oorsprong der coördinaten in een punt der draaijingsas en neme deze as als as der x, de rigting der aard-magneetkracht als as der z, zoo is:

$$X = o \qquad Y = o \qquad Z = A,$$

en de vergelijking (5) wordt:

$$\partial E = A \left(\frac{\delta x}{\delta t} \partial y - \frac{\delta y}{\delta t} \partial x\right).$$

Maar bij de draaijing is de coördinaat x constant, dus $\frac{\delta x}{\delta t} = o$, waardoor

$$\partial E = - A \frac{\delta y}{\delta t} \partial x.$$

Zijn nu x, p de regthoekige coördinaten van ∂s in het vlak des draads, en noemt men ω den hoek, dien dit vlak op den tijd t met het vlak der xy maakt, zoo is $y = p \; Cos.\, \omega$, dus $\frac{\delta y}{\delta t} = - p \; Sin.\, \omega \frac{\delta \omega}{\delta t}$. Derhalve:

$$\partial E = A p \; Sin.\, \omega \frac{\delta \omega}{\delta t} \partial x.$$

Integreert men nu langs den draad, waarbij ω en $\frac{\delta \omega}{\delta t}$ constant, daarentegen x en p veranderlijk zijn, zoo wordt

$$E = A \; Sin.\, \omega \frac{\delta \omega}{\delta t} \int p \, \partial x.$$

* Abhandl. d. Math. Phys. Classe der Sächs. Gesellschaft. I. 219.

Maar $\int p \partial x$, over den geheelen draad uitgestrekt, is gelijk aan zijnen inhoud. Stelt men deze $= \mathrm{I}$, zoo is

$$\mathrm{E} = \mathrm{AI} \; Sin. \, \omega \frac{\partial \omega}{\partial t}.$$

De som der electromotorische krachten gedurende eene halve omwenteling, of $\Sigma \mathrm{E} \partial t$, waaraan bij constanten weêrstand de hoeveelheid electriciteit, die in dien tijd door den galvanometer vloeit, evenredig is, wordt gevonden door het tweede lid te integreren van $\omega = 0$ tot $\omega = \pi$, en is dus

$$\Sigma \, \mathrm{E} \partial t = 2 \mathrm{AI}.$$

Zij is dus evenredig aan het door den draad begrensde vlak, gelijk ook Faraday bij zijne als regthoek gebogene draden gevonden heeft.

De beschouwingen, in welke wij tot dus verre getreden zijn, hebben doen zien, dat de bekende wet der magneto-inductie de verklaring der door Faraday thans medegedeelde feiten in zich bevat, en het daarbij geheel overbodig is, van de krachtlijnen zelve melding te maken. Maar men kan verder gaan en aantoonen, dat de meer algemeene stellingen zijner theorie, zooals hij die vooral in art. 3109—3115 heeft uitgesproken, uit diezelfde grondwet als noodwendige gevolgen voortvloeijen, en eerst als zoodanig eene meerdere bepaaldheid en eenen wiskundigen vorm verkrijgen. Het kan toch moeijelijk ontkend worden, dat Faraday zich hier niet met die juistheid en naauwkeurigheid heeft uitgedrukt, welke vereischt wordt om uit de door hem gegevene stellingen eene wiskundige ontwikkeling der inductie-verschijnselen af te leiden, tenzij zij van elders worden toegelicht. Wij zullen hiervan spoedig de bewijzen aantreffen bij het onderzoek van de eigenschappen der krachtlijnen ten aanzien der inductie van bewogene geleiddraden, tot hetwelk wij thans overgaan.

Wij gaan daarbij uit van de vergelijking (4), welke, wanneer de snelheid u door hare waarde $\frac{\partial s}{\partial t}$ vervangen wordt, is

$$\partial \mathrm{E} = \mathrm{R} \frac{\partial s}{\partial t} \partial s \; Sin. \, \varphi \; Cos. \, \varepsilon .$$

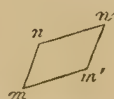
Hieruit vindt men voor de electromotorische kracht E, in een bepaald oogenblik op een eindig gedeelte des draads, van $s = s_0$ tot $s = s_1$ werkende

$$E = \int_{s_0}^{s_1} R \frac{\delta s}{\delta t} \partial s \, Sin \, \varphi \, Cos. \, \varepsilon$$

en voor de integraalwaarde der electromotorische kracht in dit gedeelte gedurende den tijd t, afgerekend van het begin der beweging

$$\Sigma_0^t E \delta t = \Sigma_0^t \int_{s_0}^{s_1} R \delta s \, \partial s \, Sin. \, \varphi \, Cos. \, \varepsilon \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Zij nu $mm' = \partial s$ het draadelement, hetgeen zich in den tijd δt verplaatst in nn', zoodat $mn = m'n' = \delta s$, zoo is de hoek $nmm' = \varphi$ en derhalve de inhoud van het parallelogram $nmm'n' = \delta s \, \partial s \, Sin. \, \varphi$. Bij deze beweging doorsnijdt ∂s al de krachtlijnen, die binnen het parallalogram doorgaan en te zamen een' bundel vormen, waarvan het parallelogram in het algemeen eene schuinsche snede is. De loodregte doorsnede wordt verkregen door vermenigvuldiging van den inhoud des parallelograms met den cosinus des hoeks ε, welken de normaal op zijn vlak maakt met de rigting der magnetische kracht R. Zij is derhalve $= \delta s \, \partial s \, Sin. \, \varphi \, Cos. \, \varepsilon$. Vermenigvuldigt men nog met de sterkte der kracht, zoo vindt men als wiskundige uitdrukking van hetgeen door Faraday het bedrag (*amount*) der doorsnedene krachtlijnen genoemd wordt, de formule $R \, \delta s \, \partial s \, Sin. \, \varphi \, Cos. \, \varepsilon$.



Men ziet nu ligt, dat het tweede lid der vergelijking (9) het bedrag der krachtlijnen uitdrukt, door een eindig gedeelte des draads in eenen eindigen tijd doorsneden, zoodat die vergelijking tot de volgende stelling leidt:

De integraalwaarde der electromotorische kracht, op eenen draad uitgeoefend door één of meer magneten in wier nabijheid de draad zich beweegt, is evenredig aan het bedrag der krachtlijnen, bij die beweging door den draad doorsneden.

Het is in dien zin dat de algemeene stelling, door Faraday in art. 3115 uitgesproken: »The quantity of electricity thrown into a current is as the

amount of curves intersected", moet opgevat worden. Doch hieruit blijkt tevens, dat zijne uitdrukking niet volkomen juist is. Want wanneer men den draad door eenen anderen van dezelfde afmetingen maar van eene meer weêrstandbiedende stof vervangt, blijft, bij dezelfde beweging, de integraalwaarde der electromotorische kracht wel onveranderd, maar de stroomsterkte en dus de hoeveelheid der voortgedrevene electriciteit neemt af in reden des weêrstands, zoo als FARADAY zelf dit (3145—3155) door proeven bevestigd heeft.

In het voorbijgaan zij nog opgemerkt, dat het bewijs zijner stelling in art. 3111: »Obliquity of intersection causes no difference", reeds in het bovenstaande bevat is.

Er is echter eene tweede stelling, die met de vorige den grondslag der geheele theorie van FARADAY uitmaakt, en daarom een nader onderzoek vereischt. Hij drukt die (3112) uit met de woorden: »convergence or divergence of the lines of force causes no difference in their amount." Het is niet moeijelijk, ook hiervan de beteekenis scherper te bepalen en tevens het bewijs der stelling te leveren.

Reeds uit de proef met ijzervijlsel is het blijkbaar, dat de krachtlijnen geen evenwijdig beloop hebben. Beschouwt men dus een' bepaalden bundel dier lijnen, zoo zal, ook wanneer de bundel oneindig dun is, de loodregte doorsnede van plaats tot plaats veranderlijk zijn. Maar het bedrag der krachtlijnen in elke doorsnede, dat is, het product van den inhoud der doorsnede met de sterkte der aldaar werkzame kracht, kan in de geheele uitgestrektheid des bundels onveranderd blijven. Onderzoeken wij, of dit noodwendig uit de grondwet der magneto-inductie volgt.

Zij in eenig punt M de magnetische kracht $= R_0$. Men neme de rigting dier kracht als as der x en het daarop normale vlak, door M gaande, als vlak der yz, zoo zijn de composanten der kracht in M

$$X = R_0 \quad , \quad Y = o \quad , \quad Z = o.$$

Men beschouwe eenen bundel, welks normale doorsnede door het vlak der yz een oneindig kleine driehoek MNP is. Zij β, γ en β', γ' de coördinaten y en z der hoekpunten N en P, dan is de inhoud I dezer doorsnede

$$I = \tfrac{1}{2} (\beta\gamma' - \beta'\gamma).$$

De composanten der kracht in het punt N zijn:

$$X = R_0 + \frac{\partial X}{\partial y}\beta + \frac{\partial X}{\partial z}\gamma$$

$$Y = \frac{\partial Y}{\partial y}\beta + \frac{\partial Y}{\partial z}\gamma$$

$$Z = \frac{\partial Z}{\partial y}\beta + \frac{\partial Z}{\partial z}\gamma,$$

waarin $\frac{\partial X}{\partial y}$, $\frac{\partial X}{\partial z}$ enz. de bepaalde waarden dier differentiaal-quotienten in het punt M aanduiden.

De vergelijking van de rigting der krachtlijn in N wordt derhalve bij verwaarloozing van de oneindig kleinen der tweede orde:

$$y - \beta = \left(\frac{\partial Y}{\partial y}\frac{\beta}{R_0} + \frac{\partial Y}{\partial z}\frac{\gamma}{R_0}\right)x$$

$$z - \gamma = \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\frac{\beta}{R_0} + \frac{\partial Z}{\partial z}\frac{\gamma}{R_0}\right)x.$$

Vervangt men hierin β en γ door β' en γ', zoo heeft men de vergelijkingen van de rigting der krachtlijn in P.

Op de as der x neme men nu een tweede punt M′ op den oneindig kleinen afstand α van M, en legge daardoor een vlak, evenwijdig aan het normale vlak in M, en welks vergelijking dus is $x = \alpha$. Het is duidelijk, dat de doorsnede van den bundel door dit vlak weder een driehoek M′N′P′ is, welks hoekpunten de snijpunten zijn van het vlak en van de krachtlijnen in M, N, P. De coördinaten y, z dier hoekpunten zijn dus:

van M′ $\quad 0,\ 0$

van N′ $\quad \beta + \left(\frac{\partial Y}{\partial y}\frac{\beta}{R_0} + \frac{\partial Y}{\partial z}\frac{\gamma}{R_0}\right)\alpha \quad , \quad \gamma + \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\frac{\beta}{R_0} + \frac{\partial Z}{\partial z}\frac{\gamma}{R_0}\right)\alpha,$

van P′ $\quad \beta' + \left(\frac{\partial Y}{\partial y}\frac{\beta'}{R_0} + \frac{\partial Y}{\partial z}\frac{\gamma'}{R_0}\right)\alpha \quad , \quad \gamma' + \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\frac{\beta'}{R_0} + \frac{\partial Z}{\partial z}\frac{\gamma'}{R_0}\right)\alpha.$

Noemt men dus I' den inhoud der tweede doorsnede, zoo vindt men zonder moeite:

$$I' = \tfrac{1}{2}(\beta\gamma' - \beta'\gamma)\left[1 + \left(\frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right)\frac{\alpha}{R_0}\right]$$

of wel

$$I' = I\left[1 + \left(\frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right)\frac{\alpha}{R_0}\right]$$

en

$$\frac{I'}{I} - 1 = \left(\frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right)\frac{\alpha}{R_0}$$

De verhouding der twee doorsneden verschilt dus van de eenheid een oneindig klein der eerste orde ten opzigte van haren afstand α, waaruit volgt, dat de verhouding van twee doorsneden des bundels, op eindigen afstand van elkander gelegen, in het algemeen eindig van de eenheid verschilt en deze doorsneden dus ongelijk zijn.

Zoekt men daarentegen het bedrag der krachtlijnen in elke doorsnede, dat is, het product der doorsnede en der aldaar aanwezige kracht, die in $M = R_0$ en dus in $M' = R_0 + \frac{\partial X}{\partial x}\alpha = R_0\left(1 + \frac{\partial X}{\partial x}\frac{\alpha}{R_0}\right)$ is, zoo vindt men dat bedrag in de eerste doorsnede $= I R_0$, in de tweede $= I R_0 \left[1 + \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right)\frac{\alpha}{R_0}\right]$, welke waarde volgens vergel. (8) aan de voorgaande gelijk is. De verhouding dier twee waarden kan dus van de eenheid slechts een oneindig klein der tweede orde verschillen; dit verschil kan derhalve ook op eindigen afstand niet eindig worden, zoodat het bedrag der krachtlijnen in elke doorsnede over de geheele lengte des bundels constant is.

Wat nu voor eenen oneindig dunnen driehoekigen bundel geldt, geldt tevens voor elken bundel van eindige doorsnede, daar deze steeds als uit oneindig vele zoodanige bundels bestaande kan beschouwd worden. Hiermede is dus de tweede hoofdstelling der theorie van Faraday bewezen.

Men zal welligt tegen dit bewijs aanvoeren dat, wegens de kromming der krachtlijnen, het tweede snijdende vlak, dat evenwijdig is aan het normale vlak in M, niet het normale vlak in M', en dus ook de gevondene waarde

van I′ niet de normale doorsnede des bundels in M′ is. Inderdaad moet men, om die doorsnede te verkrijgen, de waarde van I′ vermenigvuldigen met den Cosinus des hoeks, dien het vlak $x = \alpha$ met het normale vlak in M′ maakt. Daar echter die hoek oneindig klein is, verschilt zijn Cosinus slechts een oneindig klein der tweede orde van de eenheid, en moet derhalve hier = 1 gesteld worden.

Uit het voorgaande is dus overtuigend gebleken, dat de vroegere theorie door de nieuwe proefnemingen van Faraday niet wordt weêrsproken; dat zij veeleer van deze en van de daaruit afgeleide wetten volkomen rekenschap geeft. De volledige beantwoording der vraag, in hoe verre zij boven die van Faraday te verkiezen is, ligt buiten het bestek dezer verhandeling, daar dit onderzoek zich over al de verschijnselen van het magnetismus en der daaraan verwante krachten zoude moeten uitstrekken. Het zij ons echter vergund, eenige der redenen aan te geven, die voor het behoud der vroegere hypothesen schijnen te pleiten. Wij bepalen ons daarbij tot de zuiver magnetische verschijnselen.

De theorie van Ampère neemt de krachtlijnen als grondslag harer verdere beschouwingen aan, maar verklaart niet, hoe deze lijnen ontstaan, noch op welke wijze zij zamenhangen met de verdeeling van het magnetismus in de magneten, van welke de kracht uitgaat. Hieromtrent kan alleen een hooger beginsel opheldering geven, en men vindt dit in elke der hypothesen van magneetstoffen of van moléculairstroomen. De stellingen, uit deze hypothesen afgeleid omtrent het beloop der magnetische lijnen rondom een' magneet, in welken het vrije magnetismus geacht mag worden in twee polen opgehoopt te zijn, leveren eene voldoende overeenstemming met de waarneming op, welke gewis nog volkomener zijn zoude, indien de wet der verdeeling van het magnetismus in de magneten naauwkeuriger bekend ware.

In beide die hypothesen wordt aangenomen, dat de magnetische werking omgekeerd evenredig is aan het kwadraat des afstands. Deze wet, waarvan Gauss het strenge bewijs geleverd heeft, wordt door Faraday wel niet ontkend, maar is echter vreemd aan zijne theorie. Men weet intusschen, welke uitgebreide toepassing zij bij de inrigting en opstelling der magnetische werktuigen in de nieuwere magnetische observatoria gevonden heeft, en hoe inzonderheid de methode, door Gauss tot het meten der absolute sterkte van het aardmagnetismus voorgeslagen en thans algemeen gevolgd, alleen op deze wet gegrond is.

Sedert de ontdekking van het diamagnetismus is de rigting, in welke de door invloed magnetische ligchamen, zoo als week ijzer, zich in een magnetisch veld bewegen, meer dan vroeger ter sprake gekomen. Faraday heeft hieromtrent, als resultaat van proefneming, de wet opgesteld, dat elk vrij beweeglijk magnetisch ligchaam, in de nabijheid van magneten geplaatst, steeds streeft, zich van zwakkere naar sterkere plaatsen van magnetische kracht te begeven. Deze wet is echter in geenen noodwendigen zamenhang met zijne verdere theorie; zij kan er niet als noodwendig gevolg uit afgeleid worden. Maar ook hier blijkt de algemeene toepasselijkheid der vroegere theorie, welke die wet op eene eenvoudige wijs vermag te bewijzen.

Men beschouwe daartoe eene zeer kleine beweeglijke ijzermassa, in een magnetisch veld geplaatst en door invloed gemagnetiseerd in de rigting der magnetische kracht op die plaats. Zij x, y, z en $x + \delta x, y + \delta y, z + \delta z$ de coördinaten van de Zuid- en Noordpool van dit magneetje; δs de afstand der polen, zoodat $\delta s^2 = \delta x^2 + \delta y^2 + \delta z^2$; $\pm \mu$ de hoeveelheid magneetstof in elke pool. Duidt men verder door R de magnetische kracht in het punt x, y, z, door X, Y, Z hare composanten aan, zoo zijn de composanten der bewegende kracht, die in de Zuidpool van het magneetje aangrijpen:

$$-\mu X \quad , \quad -\mu Y \quad , \quad -\mu Z.$$

terwijl zij in de Noordpool worden:

$$+\mu\left(X + \frac{\partial X}{\partial x}\delta x + \frac{\partial X}{\partial y}\delta y + \frac{\partial X}{\partial z}\delta z\right)$$

$$+\mu\left(Y + \frac{\partial Y}{\partial x}\delta x + \frac{\partial Y}{\partial y}\delta y + \frac{\partial Y}{\partial z}\delta z\right)$$

$$+\mu\left(Z + \frac{\partial Z}{\partial x}\delta x + \frac{\partial Z}{\partial y}\delta y + \frac{\partial Z}{\partial z}\delta z\right)$$

De sommen nemende der evenwijdige composanten, vindt men voor de composanten X_1 Y_1 Z_1 der kracht, die het magneetje voortdrijft

$$X_1 = \mu\left(\frac{\partial X}{\partial x}\delta x + \frac{\partial X}{\partial y}\delta y + \frac{\partial X}{\partial z}\delta z\right).$$

$$Y_1 = \mu\left(\frac{\partial Y}{\partial x}\delta x + \frac{\partial Y}{\partial y}\delta y + \frac{\partial Y}{\partial z}\delta z\right)$$

$$Z_1 = \mu \left(\frac{\partial Z}{\partial x} \delta x + \frac{\partial Z}{\partial y} \delta y + \frac{\partial Z}{\partial z} \delta z \right)$$

Daar nu X, Y, Z de partiële differentiaal-quotienten zijn eener zelfde functie van x, y, z *, is

$$\frac{\partial X}{\partial y} = \frac{\partial Y}{\partial x} \ , \ \frac{\partial Y}{\partial z} = \frac{\partial Z}{\partial y} \ , \ \frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial X}{\partial z} ,$$

weshalve men aan de vorige vergelijkingen ook dezen vorm geven kan:

$$X_1 = \mu \frac{\partial (X \delta x + Y \delta y + Z \delta z)}{\partial x}.$$

$$Y_1 = \mu \frac{\partial (X \delta x + Y \delta y + Z \delta z)}{\partial y}.$$

$$Z_1 = \mu \frac{\partial (X \delta x + Y \delta y + Z \delta z)}{\partial z}.$$

Maar uit de evenwijdigheid der rigtingen van δs en R volgt

$$\frac{X}{R} \cdot \frac{\delta x}{\delta s} + \frac{Y}{R} \cdot \frac{\delta y}{\delta s} + \frac{Z}{R} \cdot \frac{\delta z}{\delta s} = 1.$$

of

$$X \delta x + Y \delta y + Z \delta z = R \delta s.$$

en δs is van x, y, z onafhankelijk. Men vindt derhalve, wanneer men het magnetische moment $\mu \delta s$ der ijzermassa $= m$ stelt

$$X_1 = m \frac{\partial R}{\partial x} \ , \ Y_1 = m \frac{\partial R}{\partial y} \ , \ Z_1 = m \frac{\partial R}{\partial z}.$$

Uit deze vergelijkingen volgt, dat de aan elke as evenwijdige composante der voortbewegende kracht evenredig is aan het differentiaal-quotient der magnetische kracht R ten opzigte dier as, en derhalve aan de snelheid, met welke R in de rigting dier as toeneemt. Daar nu de rigting der assen geheel willekeurig bleef, is deze stelling op elke rigting rondom de ijzermassa toepasselijk, zoodat de composante der voortbewegende kracht in elke willekeurige rigting steeds evenredig is aan de snelheid, met welke de magnetische kracht

* Gauss, t. a. pl. p. 3.

R in die rigting toeneemt. Nu is de composante het grootst, wanneer hare rigting zamenvalt met die der voortbewegende kracht zelve. Derhalve is de rigting der voortbewegende kracht diegene, in welke de magnetische kracht het snelst toeneemt.

Wij zouden deze beschouwingen nog verder kunnen voortzetten, maar meenen reeds genoeg gezegd te hebben, om te mogen besluiten, dat de theorie der krachtlijnen van FARADAY niet als hoogste beginsel in de leer van het magnetismus mag aangenomen worden. Het is er echter verre af, dat wij hiermede de belangrijkheid zijner laatste onderzoekingen zouden ontkennen. Hem komt de verdienste toe, dat hij de eigenschappen der krachtlijnen naauwkeuriger heeft nagespoord, dan vroeger geschied was. Hierdoor is hij geleid geworden tot de ontdekking van wetten van magnetische werking, die wel is waar uit de vroegere theorie kunnen afgeleid worden, maar echter tot dusverre niet opgemerkt waren. Bepaaldelijk heeft hij de grondwet der magneto-inductie onder eenen aanschouwelijken vorm voorgesteld, welke hare toepassing in vele gevallen eenvoudiger maakt en een nieuw gezigtspunt opent, dat welligt tôt verdere ontdekkingen leiden zal.

OVER HET VERSCHIL

VAN DE

INWENDIGE GESTELDHEID

DER

HORENPITTEN BIJ ANTILOPEN.

DOOR

G. VROLIK.

Uitgegeven door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.



AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.
1853.

OVER HET VERSCHIL

VAN DE

INWENDIGE GESTELDHEID

DER

HORENPITTEN BIJ ANTILOPEN.

DOOR

G. VROLIK.

Onder de Verhandelingen, welke de Eerste Klasse van het Koninklijk-Nederlandsch Instituut van Wetenschappen, Letterkunde en Schoone Kunsten in hare werken heeft opgenomen, zijn er twee, die groot licht verspreid hebben over den groei en de gesteldheid der horens en horenpitten van het rundvee, zoo zelfs, dat hare geleerde schrijvers SANDIFORT en NUMAN door dezen en genen zijn beschouwd geworden, als hadden zij dit gewigtige punt der natuurlijke geschiedenis tot volkomene klaarheid gebragt *. NUMAN evenwel, hoe scherpzinnig ook in het doen zijner proeven op den wasdom en afwijkenden vorm der horens, schijnt geen juist denkbeeld gehad te hebben van de wijze, waarop zich de horenpit vormt, of van den oorsprong zijner inwendige holte en doorgaande gemeenschap met de voorhoofdsboezems.

---

* Z. G. SANDIFORT, over de vorming en ontwikkeling der horens van zogende dieren in het algemeen, en van die der Hertenbeesten in het bijzonder; in de *Nieuwe Verhandelingen der Eerste Klasse van het Koninklijk Nederl. Instituut van Wetenschappen, Letterkunde en Schoone Kunsten*, 2de Deel, pag. 67 en volgg. en *Bijdrage tot de ontleedkundige en physiologische kennis der horens van het rundvee*, door A. NUMAN, in het 13de Deel dier Verhandelingen, pag. 185 en volgg.

Immers, wat de spil of horenpit aangaat, koesterde hij de meening, dat deze in den eersten leeftijd als een los aangroeisel slechts door tusschengevoegd kraakbeen met het voorhoofdsbeen verbonden was, en eerst later met hetzelve tot een stuk zamengroeide; tot deze meening waarschijnlijk aanleiding vindende door hetgeen aan den schedel der *Giraffen* zelfs nog in gevorderden leeftijd zigtbaar is. Hier immers is aan het afzonderlijk bestaan van het beenstuk, dat den schijn van hoorn draagt, niet te twijfelen *.

Bij het geslacht der runderen daarentegen zijn de horenspillen van den oorsprong af uitwassen, die op geen enkel stip blijk geven van voormalige scheiding of zelfstandig bestaan.

Deze misvatting ondertusschen bleef niet zonder invloed op de wijze, waarop die geachte schrijver zich het vormen der gemeenschap voorstelde van de holte der horenpit met de inwendige ruimte des voorhoofdsboezems. Het is bij ontleedkundigen eene algemeen bekende zaak, dat de lange beenderen niet geheel uit digt opeengedrongen vaste stof bestaan, maar inwendig van een los beenweefsel voorzien zijn, hetwelk in zijne tusschenruimte en cellen door vet wordt aangevuld, dat men gewoon is beenmerg te noemen. Zoo ongeveer stelde zich de Heer Numan voor, dat ook de holte gevormd wordt in de horenpit van het rundvee. Er zoude aldus, om gemeenschap met den voorhoofdsboezem daar te stellen, die aanvankelijk door het afzonderlijk bestaan der horenspil, volgens zijne meening, werd uitgesloten, eene opslorping van beenstof in het binnenste van dit ligchaam moeten plaats hebben, om de oorspronkelijke scheiding tusschen beide deelen op te heffen †. En in de daad, zoo horenpit en voorhoofdsbeen oorspronkelijk waren vaneen gescheiden en uit twee deelen bestaan hadden, die eerst later door ineengroeijing tot één geheel verbonden werden, gelijk plaats heeft bij de *epiphyses* der meeste beenderen van het dierlijk zamenstel, zou voorzeker deze beschouwingswijze niet wel grondige tegenspraak gedoogen.

Maar juist hier ligt het bezwaar. Die zich de moeite wil geven, om na te gaan, hoe van de eerste wording af bij het jong van een horendragend dier, dat voorzien is van voorhoofdsboezems, zich het buitenvlak der voorhoofdsbeenderen voordoet, hij zal er, tot de vijfde maand dragts en zelfs nog later, naauwelijks eene aanduiding op vinden van de plaats, waar naderhand eene horenpit

* l. c. pag. 199.

† l. c. pag. 200 en 201.

staat gevormd te worden, veel minder een afzonderlijk kraakbeen of beenstukje, dat tot grondslag der toekomstige horenspil zou moeten dienen. Bij een voldragen kalf evenwel zijn reeds twee knobbelige uitwassen onder de losse huid van het voorhoofd te voelen. De huid zelve is dan op het midden dier plekken reeds hard en eeltachtig, schoon nog bewegelijk over de onderliggende verhevenheden. Spoedig nemen deze toe in grootte, en geraken op hare oppervlakte voorzien van de beginselen der horens, die met de voortgroeijende spillen steeds toenemen in grootte.

Wij zullen de verdere beschouwing van deze levenswerkzaamheid daarlaten, als volkomen ontwikkeld en keurig uiteengezet door wijlen onzen ambtgenoot Sandifort *. Daar echter uit het nu voorgedragene genoegzaam is komen te blijken, dat de horenpit niet uit een afzonderlijk beenstuk op het voorhoofd wordt aangelegd, maar eene voortzetting of, zoo men wil, uitwas van het been zelf is, blijft nog over te bewijzen, dat dit uitwas oorspronkelijk niet inwendig digt is en alzoo niet noodig heeft door opslorping van de binnen bevatte beenstof eene holte te vormen ter gemeenschapsoefening met den voorhoofdsboezem †. Dat bewijs ligt voor de hand. Men heeft slechts het hoofd van kalven in opvolgende tijden te openen, van het oogenblik af, dat de horenspillen beginnen merkbaar te worden, en zulks bij verkiezing tot den leeftijd van drie à vier maanden te herhalen, om zich te overtuigen, dat van hare eerste wording af die spillen hol zijn en, uitgaande van de voorhoofdsboezems, daarmede onmiddelijk zijn verbonden. Zij zijn alzoo loutere uitbreiding van die boezems, en niets anders.

Dat de *Giraffe*, hoewel voorzien van uitgebreide voorhoofdsboezems, geene holle aangroeisels draagt, wordt door den Heer Numan in het midden gebragt ten betooge, dat er geen noodwendig verband bestaat tusschen de holte der horenspillen en gezegde boezems. Doch vooreerst hebben deze aangroeisels, nog zeer lang na de geboorte, geen onmiddelijk verband met den schedel, maar worden door een kraakbeenig tusschenvoegsel daarvan ten eenenmale gescheiden gehouden, hetwelk als van zelf alle gemeenschap met de voorhoofdsboezems uitsluit, en ten tweeden hebben die aangroeisels meer den schijn van horens, dan dat zij het werkelijk zijn zouden. De typen van hoornen mogen

* l. c. pag. 76 en volgg.

† Vergelijk Numan ter aangehaalde plaatse.

zij dragen, werkelijke horens zijn het niet *. Het noodzakelijk verband tusschen voorhoofdsboezems en holle horenspillen wordt derhalve door deze tegenbedenkingen niet opgeheven.

Wanneer men eene andere familie van horendragende dieren, met name der *Antilopen* in oogenschouw neemt, vindt men, dat eenige voorzien zijn van voorhoofdsboezems, andere deze missen. Hier alzoo doet zich eene geschikte gelegenheid op, tot een vergelijkend onderzoek. Ik heb daarom schedeldeelen met hunne hoornen van meer dan eene soort onderworpen aan eene opzettelijke bewerking, en waar voorhoofdsboezems waren, de horens met hunne spillen naauwkeurig laten doorzagen tot in de boezems; en waar zij niet bestonden, evenzoo door scheiding des zamenhangs, de inwendige gesteldheid der horenpitten getracht te leeren kennen.

Wat ik bevonden heb, zal de aanschouwing der stukken, die ik hiernevens overleg, duidelijk maken. Het eerste is van den *Antilope Gnu* †, een kolossaal gehoornd dier, voorzien van ruime voorhoofdsboezems en van krachtige hoor-

---

* Zou dit niet reeds zijn opgemerkt door Plinius, Diodorus Siculus, Albertus Magnus en anderen, daar zij ten eenenmale zwijgen van horens bij het Kameelpaard? Voorbijgeziën toch kunnen zij die verhevenheden niet hebben; maar, haar vergelijkende met echte hoornen, werd vermoedelijk door hen onnoodig geacht als zoodanig melding van dezelve te maken. De vooronderstelling van Vosmaer, „dat het dier, hetwelk men voor het eerst te Rome, onder het Dictatorschap van Julius Cæsar zag, gelijk mede dat, hetwelk aan den Keizer Fredericus, ten tijde van Albertus Magnus, toebehoorde, beide hunne hoornen hadden verloren," schijnt mij weinig grond te bezitten. Er is toch in de gansche geschiedenis van deze dieren niets te vinden, dat hem tot zulk een vermoeden aanleiding geven konde. Ik blijf daarom bijzonder hechten aan mijne zoo even geopperde meening, te meer, daar Jonston, Aldrovandus en Gesnerus hunne afbeeldingen, op het gezigt af, met ware horens laten prijken. De laatstgenoemde evenwel levert eene dubbele figuur, waarvan de tweede is genomen naar de afbeelding van eene *Giraffe*, die ten jare 1569 te Neurenberg, als naar een levend voorwerp, te Constantinopel vervaardigd, is in het licht verschenen, en dit in het bijzonder voorheeft, dat hier de zoogenaamde hoornen meer overeenkomstig de natuur zijn voorgesteld.

Vergelijk *Natuurlijke Historie van het Kaapsche Kameel-paard, Camelopardalis* of *Giraffe* genaamd, beschreven en uitgegeven door A. Vosmaer, te Amsterdam, bij de Erven P. Meijer en G. Warnars, 1787. 4°. pag. 16 en volgg.

Historiæ Naturalis de quadrupedibus libri, cum aeneis figuris. Johannes Jonstonus, Medicinæ Doctor concinnavit, Amstelodami MDCLVII, Folio. Tab. XXXIX.

Ulyssis Aldrovandi *Quadrupedum omnium bisulcorum Historia.* Bononiæ, MDCXXI, Folio. Tab. pag. 931. Lib. I, exarata.

Conradi Gesneri *Historiæ animalium liber primus de quadrupedibus viviparis.* Francofurti CIϽIϽCXX, Folio. pag. 147 en 149.

† Z. Pl. I, fig. 1, zijnde ter halve grootte voorgesteld.

nen, wier opene ruimten op de doorsnede der spillen wel niet blijken ver in de lengte door te gaan, maar toch aan haar grondstuk zeer ruime, in vakken verdeelde holten toonen, onmiddelijk verband houdende met opgemelde voorhoofdsboezems *. Het tweede voorbeeld is genomen van eene *Antilope Caama* †, waarvan ik de verdere gesteldheid en ruimte der voorhoofdsboezems wel niet heb kunnen nagaan, welke ik echter vermoed, dat moeten onderdoen voor die van de *Antilope Gnu*. De horens eenigzins verwijderd van het voorhoofd zijnde afgezaagd, kan men hunne inwendige gesteldheid alleen beoordeelen naar het overgebleven gedeelte §. Dat zij ondertusschen in het onderste van hunne pitten hol zijn, laat geen twijfel over. Die holten, hoezeer niet verdeeld in vakken, zijn evenwel van te aanmerkelijken omvang, om niet als vervolg der voorhoofdsboezems en als een zamenhangend deel met deze beschouwd te worden. Hare diepte bedraagt meer dan zes Nederlandsche duimen, bij eene doormeting van vijf duim.

Er zullen vermoedelijk Antilopen bestaan, waar die opene ruimte in de horenspillen van nog mindere gehalte is. Deze en dergelijke voorbeelden mogen dan dienen, om den overgang begrijpelijk te maken tot die soorten, welke in het geheel geene voorhoofdsboezems dragen en dien ten gevolge ook geene holte voeren in hare horenspillen. William Ogilby evenwel schijnt dit noodzakelijk verband tusschen de voorhoofdsboezems en de holte der horenpitten niet te hebben ingezien. Zou men dit redelijker wijze niet mogen afleiden uit hetgeen hij ten dezen aanzien heeft opgeteekend in zijne *Monograph of the hollow-horned ruminants* **. Immers hij zegt aldaar, van de horenpitten sprekende: »in some cases the substance of this bony core is solid, or at least

---

* Sandifort heeft deze gemeenschap ook reeds opgemerkt, en spreekt er met een enkel woord van op bladzijde 77 zijner meergemelde verhandeling.

Ook aan Carus is zij niet onbekend gebleven. Hij gaf er in zijne *Erläuterungs-tafeln zur vergleichenden Anatomie*, Heft II. Tab. II. fig. 23, eene fraaije afbeelding van bij de voorstelling eener schuins doorgezaagde horenpit van de *Antilope rupicapra*.

† Zie Pl. I, fig. 2, mede ter halve grootte.

§ De ware stand dezer horens en hunne betrekking tot de horenpitten, zijn afgebeeld op plaat XXXVIII van de *Description du Cabinet du Roi*, Paris 1764, 4°. Tome XII, pag. 340, en aldaar aangeduid onder den naam van *Cornu de Condama*, die bevonden is geene andere te zijn, dan onze *Antilope Caama*.

** Z. *Transactions of the Zoölogical Society of London*. Printed for the Society, 1849, 4°. pag. 33 en volgg.

»penetrated only by minute pores; in others, and they are by far the greater »number, it is partially hollow, or filled with large cancelli, which communicate »with the frontal sinuses." Want toch, hoezeer aan OGILBY de gemeenschap van de holle horenpitten met de voorhoofdsboezems niet ontgaan is, vind ik bij hem geen enkel woord over het noodwendig verband, dat mij gebleken is, tusschen beide deze deelen te bestaan.

Hetzelfde schijnt men te mogen aannemen voor JOHN EDWARD GRAY, die, de horenpitten van eenige Antilopen voor den Colonel H. SMITH onderzocht hebbende, hare inwendige gesteldheid meer of min in cellen verdeeld vond, gemeenschap oefenende met de voorhoofdsboezems. Immers het noodzakelijk verband tusschen beider holligheden doet hij niet uitkomen *, en schijnt ook verder daaraan niet gedacht te hebben.

Doch hoe anderen hierover denken mogen, de twee voor mij liggende exemplaren van Antilopen-schedels der *Antilope Oreas* en *Antilope Tragulus* †, welke voorhoofdsboezems missen, toonen aan hunne doorgezaagde horenspillen geen schijn van holte. Hier heeft nu plaats, hetgeen men bij alle lange beenderen pleegt waar te nemen. Het beenweefsel scheidt zich in cellen van meer of mindere grootte en losheid, dienende alleen ter opneming van bijkans vloeibaar vet. Zoo ziet men het in deze kleinere horenspillen van de *Antilope Tragulus* en in deze groote en zware van de *Antilope Oreas*.

Zou men uit de meer achterwaartsche plaatsing der horens op het voorhoofd, gelijk zij hier is waar te nemen, niet mogen afleiden: 1°. dat zulke Antilopen niet voorzien zijn van voorhoofdsboezems; 2°. dat zij digtgesloten horenpitten dragen? Eene naauwkeurige navorsching zal dit kunnen uitmaken, en tevens het noodige licht verspreiden over dit gewigtige vraagstuk §.

Wat ik thans heb voorgedragen kan voor vele Leden dezer vergadering grootendeels niet nieuw zijn. Trouwens het bevat alleen in een meer ontwikkeld opstel, hetgeen ik bij het beoordeelen van de Verhandeling des Heeren

* Z. *Gleanings from the Menagerie and Aviary at Knowsley Hall.* Knowsley, 1850, fol. pag. 1 en 2.

† Z. Pl at II, fig. 3 en 4, waar die van de *Antilope Oreas* ter halve grootte, en die van de *Antilope Tragulus* in natuurlijke grootte is afgebeeld.

§ Volgens goedwillige mededeeling van ons geacht medelid H. SCHLEGEL, wordt dit mijn vermoeden tot zekerheid verheven bij *Antilope mergens, Saltiana, Maxwellii, pygmea, dorsalis, spinigera* en *Pluto*.

NUMAN aan de Eerste Klasse des voormaligen Koninklijk-Nederlandschen Instituuts en aan wijlen den geachten schrijver zelven als mijne overtuiging te kennen gaf. Ik heb sedert dien tijd het onderwerp niet uit het oog verloren, en geene gelegenheid laten voorbijgaan, om de Natuur ten deze van nabij te raadplegen. Wat zij mij leerde, heb ik zoo kort mogelijk zamengetrokken, overbodig achtende, in breedere ontwikkeling te treden over een onderwerp, waarvan de nasporing onder het bereik valt van elken natuuronderzoeker.

Nog een woord evenwel over hetgeen het nu voorgedragene op de wetenschappelijke rangschikking der Antilopen ten gevolge moet hebben. Men zal immers voortaan de gewone definitie van Antilopen niet meer voor geldig kunnen houden, noch voor vaste kenmerken mogen aannemen *ronde of bijkans ronde horens, zittende* OP EENE DIGTE BEENIGE SPIL *. En al ware zulks bij allen, zou het dan toch niet verkieslijk wezen, naar andere onderscheidingsteekenen om te zien, dan die ontleend zijn uit deelen, welke gedurende het leven, voor het gezigt verborgen blijven?

Bijaldien ik niet te onbedachtzaam oordeel, behoorde men, zoo in het Dieren- als Planten-rijk voor de bepaling van geslachten en soorten nimmer kenmerken toe te laten, die alleen met schending of geheele vernieling van het voorwerp zijn op te sporen. Hoe menigwerf ondertusschen wordt men, bij planten vooral, hiertoe genoodzaakt, indien men zich bij het onderzoek voor misvatting wil hoeden?

Of er nu uiterlijke teekens genoeg bestaan, waardoor de Antilopen van naast aangrenzende dieren te onderscheiden zijn, wil ik gaarne aan de beoordeeling van meer bevoegden overlaten.

Vóór ettelijke jaren hebben vooral CARL SUNDEVALL † en WILLIAM

---

* Cornua teretia aut subteretia, *nucleo osseo solido*, of zoo als bij CUVIER: les Antilopes ont la substance de leur *noyau osseux solide* et sans pores ni sinus.

Het was ondertusschen CUVIER niet alleen, die aan zulk een onderscheidingsteeken bleef vasthouden. Ik vond het bij anderen terug, ja zelfs nog onlangs in de zeer uitgewerkte *Monographie des Espèces du genre Cerf*, par M. le Docteur PUCHERAN, waar hij, sprekende over de digtheid der Hertenhorens, met zoo vele woorden zegt: *chez les Antilopes, le noyau osseux de leur base se trouve dans les mêmes conditions.* Zie pag. 286 van het Zesde Deel der *Archives du Museum d'histoire naturelle.* Paris 1852. 4°.

† *Z. Methodische Uebersicht der Wiederkauende Thiere, Linné's pecora,* von CARL SUNDEVALL. Aus dem Schwedischen übersetzt von Dr. C. FR. HORNSCHUCH. Greifswald 1848. 8°.

Ogilby * duidelijk bewezen, dat de arbeid van vroegere natuuronderzoekers en tijdgenooten niet genoegzaam afdoende geweest is, om over geslacht- en soortbepaling der Antilopen het noodige licht te verspreiden. Of zij ondertusschen in hunne uiteenzettingen gelukkig genoeg geslaagd zijn, om eene verdere beschouwing van de onderwerpelijke zaak noodeloos te maken, mag men met regt betwijfelen. Een kritisch overzigt van hetgeen tot nu toe over de uitgebreide familie der Antilopen is te boek gesteld, nevens eene opgaaf van afdoende definitiën zou zeer welkom zijn, en welligt brengen tot vaste bepalingen, die voor als nog grootendeels gemist worden. Men verwachte dit alzoo van de toekomst.

* Z. l. c. pag. 51.




1.



Lith. v. Meyer & C° Amst.






A

OVER HET

BEREKENEN DER GEMIDDELDE WATERHOOGTE

EN

DER WATERGETIJDEN,

UIT GEDANE WAARNEMINGEN.

DOOR

F. J. STAMKART.

Uitgegeven door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.



AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.
1854.

OVER HET

BEREKENEN DER GEMIDDELDE WATERHOOGTE

EN

DER WATERGETIJDEN,

UIT GEDANE WAARNEMINGEN,

DOOR

F. J. STAMKART.

Indien M de hoogte van het water voorstelt, onafhankelijk van de werkingen van zon en maan, dat is, alleen gewijzigd door de werking van den wind en door de drukking van den dampkring;

a, a_1, a_2, a_3, a_4 enz. coëfficienten,
b_1, b_2, b_3, b_4 enz. bogen,

die van de aantrekking der zon, de beweging der aarde, de diepte der zee, den vorm der kusten enz. afhangen;

A, A_1, A_2, A_3, A_4 enz. coëfficienten,
B_1, B_2, B_3, B_4 enz. bogen,

die op dezelfde wijze functiën zijn van de aantrekking der maan, en van de betrekkelijke beweging van maan en aarde, nevens verdere standvastige grootheden; eindelijk

p de uurhoek der zon, P der maan,

en h de hoogte van het water op een zeker oogenblik; dan kan men schrijven:

$$h = M + \left\{ \begin{matrix} a + a_1 \, Sin.(p + b_1) + a_2 Sin.(2p + b_2) + a_3 Sin.(3p + b_3) + a_4 Sin.(4p + b_4) \\ A + A_1 \, Sin.(P + B_1) + A_2 Sin.(2P + B_2) + A_3 Sin.(3P + B_3) + A_4 Sin.(4P + B_4) \end{matrix} + \text{enz.} \right\} \quad (1)$$

De waarheid dezer uitdrukking kan, op algemeene gronden ligt aangewezen worden; want, onderstelt men vooreerst b. v. alleen de werking der zon, en neemt men daarbij de declinatie van dat hemellicht standvastig, dan is alleen de uurhoek p veranderlijk; de hoogte h—M moet dus, in dit geval, eene functie van p en van *standvastige* grootheden zijn; ten minste, streng genomen, indien de verandering van p evenredig aan *den tijd* is. Dit laatste is zeer nabij het geval, en dus zal in onze onderstelling, dagelijks, bij denzelfden uurhoek, ook dezelfde hoogte h — M des waters moeten plaats hebben; dat is: h—M zal in de periode van een etmaal alle mogelijke veranderingen moeten doorloopen. Het is bekend, dat, welke ook de bedoelde functie zijn mag, zij in dit geval, door eene uitdrukking als de bovenstaande kan voorgesteld worden.

Neemt men nu aan, dat, de declinatie dezelfde blijvende, de afstand van de zon tot de aarde, langzaam, betrekkelijk een weinig vermeerdert of vermindert, dan is het duidelijk, dat hierdoor alleen de uitwerking der aantrekking iets verminderen of vermeerderen kan, en overigens geene merkbare verandering zal ondergaan. — Het is bewezen, dat de uitwerking van de aantrekking van eenig hemelligchaam op de watergetijden, zeer nabij in de omgekeerde derde-magts reden van den afstand is; bij gevolg zullen al de getallen a in deze reden staan.

Stelt men verder, dat de declinatie der zon verandert, en wel ook langzaam, met betrekking tot de veranderingen van den uurhoek p, dan mag men vooreerst de grootheden a, niet meer als standvastig beschouwen, maar ten andere zullen ook de bogen b meer of min moeten veranderen. Daar echter de verandering in declinatie betrekkelijk langzaam voortgaat, mag men, volgens eene opmerking van LAPLACE, aannemen, dat het water op elk oogenblik zeer nabij den vorm aanneemt, dien het bij de plaats hebbende declinatie, zoo zij standvastig bleef, zoude hebben. Volgens de theorie is, wanneer D de declinatie der zon voorstelt, de coëfficient

a evenredig aan $3\,Cos.\,2D - 1$.

a_1 » » $Sin.\,2D$.

a_2 » » $Cos.^2\,D$ of $1 + Cos.\,2D$.

In eene geheel vrije en diepe zee zouden de overige coëfficienten a_3, a_4 enz. naauwelijks merkbaar wezen en verwaarloosd kunnen worden. In de werkelijkheid, en vooral op onze kusten, waar de beweging des waters vele

belemmeringen ondervindt, is dit het geval niet. De langere duur van de eb dan van den vloed op de kust van Holland, vooral tusschen Katwijk en Petten, toont aan, dat aldaar de coëfficient a_4 niet onbelangrijk is. — Wat den term a_3 $Sin. (3p + b_3)$ betreft, ofschoon hij eene ongelijkheid in de *halfdaagsche* getijden voorstelt, of anders gezegd, eene wijziging in het getij, dat slechts eens in de 24 uren volbragt wordt, en dat door den term a_1 $Sin. (p + b_1)$ wordt aangewezen, zoo is er toch geene reden om hem weg te laten. Ik meen dus, voor zoover de declinatie betreft, a_3 als afhankelijk van a_1, en a_4 afhankelijk van a_2 te mogen beschouwen; waaromtrent echter de waarnemingen mogen beslissen.

Wat de bogen b betreft, reeds LAPLACE heeft aangetoond, dat zij niet geheel standvastig zijn, wanneer het getij op zekere plaats voortgebragt wordt door de zamenwerking van twee getijden, die langs verschillende wegen naar die plaats komen, en dat in dit geval b veranderen moet met de snelheid van den loop des hemelligchaams dat den vloed veroorzaakt, in zijne baan; hetgeen dus een niet zeer uitgestrekte veranderlijkheid daarstelt. Overigens mogen de waarnemingen beslissen. In dezelfde onderstelling is ook a_1 eenigermate veranderlijk; ook hierover moeten de uitkomsten der berekeningen licht geven, na dat eerst gemiddelde waarden van a en b bekomen zijn.

Wanneer langzamerhand de vorm der kusten en zeegaten of de diepte der zee veranderingen ondergaan, dan is het duidelijk, dat dit invloed moet hebben op standvastige grootheden, die in de uitdrukking — in de a^s en b^s, — begrepen zijn. De eerste term a alleen maakt hierop eene uitzondering; want de langzame verandering in declinatie, en de nog veel langzamere verandering der kusten enz. laten toe, dat het water, afgezien van de veranderingen waarvan de periode slechts 24 uren is, op elk oogenblik den gemiddelden stand van evenwigt aanneme.

Wat wij van de termen van de werking der zon afhangende gezegd hebben, geldt even zoo van de termen die uit de werking der maan voortkomen.

Eindelijk moet opgemerkt worden, dat, gelijk bekend is, de declinatiën, die in de uitdrukking voor de hoogte des waters voorkomen, die zijn, welke eenigen tijd vroeger dan het tijdstip der waarneming hebben plaats gehad; en even zoo met de uurhoeken; met andere woorden, dat de hoogte h — M eene functie is van de standen van zon en maan, eenigen tijd vroeger dan het tijdstip der waarneming. Ook weet men dat in de havens van Frankrijk en Engeland, het verschil van tijd tusschen eenige waterhoogte en de standen

der hemelligchamen waarvan zij afhangt, ongeveer $1\frac{1}{2}$ of 2 dagen beloopt. Wat de uurhoeken betreft, kan men echter de uurhoeken der waarnemings-tijden invoeren, terwijl het verschil alleen invloed op de bogen b en B kan hebben. Indien de beweging in regte klimming van het betreffende hemellicht *gelijkmatig* is, dan zal het verschil ook standvastig wezen. De *veranderingen* in de snelheid van beweging in regte klimming, worden dan begrepen in de veranderingen der bogen b en B, welke uit de waarnemingen worden afgeleid.

Zoo wij nu voor elken term der uitdrukking (1), die van den vorm $a_n \, Sin. (np + b_n)$ is, twee termen van den vorm $X_n \, Sin. \, np + Y_n \, Cos. \, np$ invoeren, en vooraf stellen:

$$\delta = \frac{\frac{1}{2} \text{ midd. zon}}{\text{Gemidd. } \frac{1}{2} \text{ midd. zon}}$$

$$\Delta = \frac{\frac{1}{2} \text{ midd. maan}}{\text{Gemidd. } \frac{1}{2} \text{ midd. maan}} = \frac{\text{parallaxis maan}}{\text{Gemidd. parallaxis maan}}$$

D = declinatie zon, D′ = declinatie maan, $1\frac{1}{2}$ à 2 dagen vroeger dan het oogenblik der waarneming;

$$\left.\begin{array}{ll}
a = (a)\,(3\,Cos.\,2\,D - 1)\,\delta^3, & \\
A = (A)\,(3\,Cos.\,2\,D' - 1)\,\Delta^3, & \\
x_1 = (a_1)\,Cos.\,b_1\,\delta^3\,Sin.\,2\,D, & X_1 = (A_1)\,Cos.\,B_1\,\Delta^3\,Sin.\,2\,D', \\
y_1 = (a_1)\,Sin.\,b_1\,\delta^3\,Sin.\,2\,D, & Y_1 = (A_1)\,Sin.\,B_1\,\Delta^3\,Sin.\,2\,D', \\
x_2 = (a_2)\,Cos.\,b_2\,\delta^3\,Cos.^2\,D, & X_2 = (A_2)\,Cos.\,B_2\,\Delta^3\,Cos.^2\,D', \\
y_2 = (a_2)\,Sin.\,b_2\,\delta^3\,Cos.^2\,D, & Y_2 = (A_2)\,Sin.\,B_2\,\Delta^3\,Cos.^2\,D', \\
x_3 = (a_3)\,Cos.\,b_3\,\delta^3, & X_3 = (A_3)\,Cos.\,B_3\,\Delta^3, \\
y_3 = (a_3)\,Sin.\,b_3\,\delta^3, & Y_3 = (A_3)\,Sin.\,B_3\,\Delta^3, \\
x_4 = (a_4)\,Cos.\,b_4\,\delta^3, & X_4 = (A_4)\,Cos.\,B_4\,\Delta^3, \\
y_4 = (a_4)\,Sin.\,b_4\,\delta^3, & Y_4 = (A_4)\,Sin.\,B_4\,\Delta^3, \\
\text{enz.} & \text{enz.}
\end{array}\right\} \quad \ldots (2)$$

dan verkrijgt (1) de volgende gedaante:

$$h = M + \left\{\begin{array}{l} a + x_1\,Sin.\,p + y_1\,Cos.\,p + x_2\,Sin.\,2p + y_2\,Cos.\,2p + x_3\,Sin.\,3p + \text{enz.} \\ A + X_1\,Sin.\,P + Y_1\,Cos.\,P + X_2\,Sin.\,2P + Y_2\,Cos.\,2P + X_3\,Sin.\,3P + \text{enz.} \end{array}\right\} \quad (3)$$

Hierbij moet nog gevoegd worden, dat indien H de gemiddelde hoogte des barometers gedurende eenige dagen voorstelt, uitgedrukt in *m m*, en (M) de gemiddelde waterhoogte, bevrijd van alle storende invloeden, men zal mogen stellen:

$$\text{Gem. waarde van } M = (M) - C\,(H - 760) + \textit{functie wind} \ldots \ldots \quad (4)$$

De reden waarom wij hier de *gemiddelde* hoogte des barometers genoemd hebben, en niet de hoogte op het oogenblik der waarneming, is, omdat de hoogte des waters niet alleen gewijzigd wordt door den druk der lucht op de plaats der waarneming, maar ook door de gelijktijdige drukkingen op meer en minder verwijderde plaatsen, en ook omdat de veranderingen in de luchtdrukking ligtelijk spoediger kunnen voortgaan dan de overeenstemmende veranderingen in de waterstanden. Hetzelfde geldt ook met betrekking tot den belangrijken invloed van den wind op de hoogte des waters.

Hetgeen waar het nu op aankomt is, om uit eene reeks waargenomene waterhoogten h de waarde der grootheden (M), (a), (b), (A) enz. te vinden, zoo mogelijk afzonderlijk voor de zon en de maan, en tevens om, voor onze havens, het tijdsverschil nader te bepalen, hoe veel vroeger de declinatiën genomen moeten worden; voorts het bepalen der gemiddelde waarde (M) + (a) + (A) voor een gegeven tijdvak.

Er wordt ondersteld eene lange reeks van opteekeningen van waterhoogten, van uur tot uur, onafgebroken, dag en nacht voortgaande.

Men kan om tot de oplossing te geraken, o. a., op eene van de beide volgende wijzen te werk gaan, welke wij ieder afzonderlijk zullen overwegen; te weten: 1°. Over eenig tijdvak zamenvoegen alle de hoogten h, die op *achtervolgende* dagen, telkens op *hetzelfde uur* van den dag, waargenomen zijn, en door deeling, de gemiddelde hoogten des waters, voor elk der 24 uren, afzonderlijk bepalen; op deze wijze verdwijnen uit de gemiddelden, tot zekere mate de termen die van de maan afhangen; — of men kan 2°. zamenvoegen de waterhoogten h, die op achtervolgende dagen, bij *denzelfden uurhoek* P der maan, plaats gehad hebben; bij deze wijze van zamenvoegen, verdwijnen uit de gemiddelden, in meerdere of mindere mate, de termen die van de zon afhangen. De waterhoogten bij dezelfde uurhoeken der maan, zijn, volgens onderstelling, wel niet opgeteekend, maar wij zullen een eenvoudig middel aanwijzen, om ze met gemak uit de gedane uurwaarnemingen te kunnen afleiden.

Overwegen wij de eerste wijze van het zoeken der gemiddelden. In dit geval heeft men:

$$\left.\begin{aligned}\Sigma h = \Sigma M + \Sigma a + \Sigma A + Sin.\, p\,\Sigma x_1 + Cos.\, p\,\Sigma y_1 + Sin.\, 2p\,\Sigma x_2 + Cos.\, 2p\,\Sigma y_2 + \text{enz.}\\ + \Sigma X_1\, Sin. P + \Sigma Y_1\, Cos. P + \Sigma X_2\, Sin. 2P + \Sigma Y_2\, Cos. 2P + \text{enz.}\end{aligned}\right\} (5)$$

Aldus bekomt men voor *elk bepaald uur* ééne som, en gemiddelde hoogte, en dus 24 gemiddelde hoogten voor het gekozene tijdvak.

Ten einde de eliminatie van de termen die van de maan afhangen, zoo volkomen mogelijk te maken, en tevens om de gemiddelden in verband met de jaargetijden te brengen, zullen wij het tijdvak kiezen ter lengte van *ééne maand* en wel steeds van 30 of 31 dagen.

NB. Daar de maand Februarij 28 of 29 dagen heeft, maar de *drie* maanden *Januarij, Februarij* en *Maart* te zamen 90 of 91 dagen tellen, zoo kan men den 31sten Januarij en den 1sten Maart, of, in een schrikkeljaar, alleen den 31sten Januarij, bij de maand Februarij rekenen, en aldus een korter tijdvak dan van 30 dagen vermijden.

Daar wij de meerdere of mindere veranderlijkheid der bogen b en B uit de waarnemingen willen afleiden, zullen wij beginnen met de onderstelling, dat deze bogen *standvastig* zijn, en op deze wijze de rekening doorvoeren, ten einde te onderzoeken in hoeverre hiermede aan de waarnemingen voldaan kan worden. In elk geval is de onderstelling van de standvastigheid der bogen b in de uitdrukking (5), voor een tijdvak van ééne maand, veroorloofd, omdat de declinatie der zon, doorgaande in dat tijdsverloop niet veel verandert, en wat de bogen B betreft, omdat de termen van de maan afhangende, in eene maand voor een aanmerkelijk bedrag moeten verdwijnen.

Stellen wij alzoo:

$$\left.\begin{array}{ll} (a_1)\ Cos.\ b_1 = (x_1) & (A_1)\ Cos.\ B_1 = (X_1) \\ (a_1)\ Sin.\ b_1 = (y_1) & (A_1)\ Sin.\ B_1 = (Y_1) \\ (a_2)\ Cos.\ b_2 = (x_2) & (A_2)\ Cos.\ B_2 = (X_2) \\ (a_2)\ Sin.\ b_2 = (y_2) & (A_2)\ Sin.\ B_2 = (Y_2) \\ \text{enz.} & \text{enz.} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ (6)$$

dan verandert (5) in:

$$\left.\begin{array}{l} \Sigma\, h = \Sigma M + (a)\ \Sigma\ (3\, Cos. 2\, D - 1)\, \delta^3 + (A)\ \Sigma\ (3\, Cos. 2\, D' - 1)\, \Delta^3 \\ + (x_1)\ Sin. p\, \Sigma\, \delta^3\, Sin. 2\, D + (y_1)\ Cos. p\, \Sigma\, \delta^3\, Sin. 2\, D \\ + (x_2)\, Sin. 2\, p\, \Sigma\, \delta^3\, Cos.^2\, D + (y_2)\ Cos. 2\, p\, \Sigma\, \delta^3\ Cos.^2\, D \\ + (x_3)\ Sin. 3\, p\, \Sigma\, \delta^3 + (y_3)\ Cos. 3\, p\, \Sigma\, \delta^3 + (x_4)\ Sin. 4\, p\, \Sigma\, \delta^3 + (y_4)\ Cos. 4\, p\, \Sigma\, \delta^3 \\ + (X_1)\ \Sigma\ Sin. P . \angle^3\ Sin. 2\, D' + (Y_1)\ \Sigma\ Cos. P\, \angle^3\ Sin. 2\, D' \\ + (X_2)\ \Sigma\ Sin. 2\, P . \angle^3\ Cos.^2\, D' + (Y_2)\ \Sigma\ Cos. 2\, P . \Delta^3\ Cos.^2\, D' \\ + (X_3)\ \Sigma\ Sin. 3\, P . \Delta^3 \qquad + (Y_3)\ \Sigma\ Cos. 3\, P . \Delta^3 \\ + (X_4)\ \Sigma\ Sin. 4\, P . \Delta^3 \qquad + (Y^4)\ \Sigma\ Cos. 4\, P . \Delta^3 \end{array}\right\} \quad (7)$$

Beschouwen wij elk der termen dezer uitdrukking afzonderlijk:

Vooreerst wat de waarde van δ^3 betreft; aangezien de *grootste* verandering

van dit getal, gedurende ééne maand, minder dan $\frac{3}{100}$ bedraagt, zoo is het voldoende om voor δ^3 de *gemiddelde* waarde gedurende het tijdvak te kiezen, en deze gemiddelde waarde buiten het sommatie-teeken Σ te schrijven. *

Met betrekking tot *Sin.* 2D, *Cos.* 2D en *Cos.* ²D $= \frac{1 + Cos.\,2\,D}{2}$, kan men ook, in de meeste gevallen de gemiddelde declinatie van de maand nemen, maar het is eene geringe moeite om de gemiddelde waarde dezer grootheden zelve te berekenen, waarbij het zeker voldoet om *Sin.* 2D en *Cos.* 2D, b. v. van 5 tot 5 dagen op te zoeken, en dan het gemiddelde te nemen. Indien alzoo $\underline{Sin.\,2\,D}$, $\underline{Cos.\,2\,D}$ en $\underline{Cos.^2\,D}$ de aldus gevondene gemiddelde waarde gedurende het tijdvak, voorstellen, dan worden de termen, die van de zon afhangen, na deeling door 30 of 31, van den volgenden meer eenvoudigen vorm:

$$
\begin{array}{llll}
 & (a)\ (3\,\underline{Cos.\,2\,D} - 1)\ \underline{\delta^3} & & \\
+ (x_1)\ \underline{\delta^3}\ \underline{Sin.\,2\,D} & Sin.\,p & + (y_1)\ \underline{\delta^3}\ \underline{Sin.\,2\,D} & Cos.\,p \\
+ (x_2)\ \underline{\delta^3}\ \underline{Cos.^2\,D} & Sin.\,2p & + (y_2)\ \underline{\delta^3}\ \underline{Cos.^2\,D} & Cos.\,2p \\
+ (x_3)\ \underline{\delta^3}\ \ .\ \ . & Sin.\,3p & + (y_3)\ \underline{\delta^3}\ \ .\ \ . & Cos.\,3p \\
+ (x_4)\ \underline{\delta^3}\ \ .\ \ . & Sin.\,4p & + (y^4)\ \underline{\delta^3}\ \ .\ \ . & Cos.\,4p
\end{array}
$$

Om het beloop der termen, die van de maan afhangen, in de uitdrukking (7) te bepalen, zullen wij aannemen, dat de maan met eene gelijkmatige, gemiddelde snelheid van het westen naar het oosten voortgaat, zoo dat P, voor hetzelfde uur van den dag, dagelijks evenveel afneemt.

De Synodische omloopstijd der maan 29,5305 dagen bedragende, vermindert elke uurhoek P, van den eenen op den volgenden dag, met 12°,1908. Om nu de vijf eerste termen, die betrekking tot de maan hebben, in de uitdrukking (7) te kunnen herleiden, zullen wij eerst *Sin.* 2D′ en *Cos.*² D′ nader moeten ontwikkelen. Laat daartoe ♈A de ecliptica, ♈B de equator en J *i* C de maansweg voorstellen, waarvan de klimmende knoop zich in *i* bevindt.



Zij de lengte van $i = ♈ i = \alpha$
De helling van den maansweg $= i$
De hoek tusschen den maansweg en den equator . . . $=$ I

* Zie eene hierbij gevoegde Tafel van δ^3 van 10 tot 10 graden lengte der zon, gedurende een jaar.

De regte klimming van het doorsnijdings-punt $\gamma J = \gamma$,
de helling van den equator op de ecliptica $= \omega$.

Dan heeft men:

$$\left.\begin{aligned} Cos.\, I &= Cos.\, i\ Cos.\, \omega - Sin.\, i\ Sin.\, \omega\ Cos.\, \alpha \\ Cos.\, \gamma &= \frac{Cot.\, i\ Sin.\, \omega + Cos.\, \omega\ Cos.\, \alpha}{Sin.\, \alpha} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

Zij verder de regte klimming der maan $= \gamma N = ☾$
en de declinatie, als hierboven. . . . $MN = D'$

dan is:

$$Tang\ D' = Tang\, I\, .\ Sin.\ (☾ - \gamma)\ ;$$

waaruit bij ontwikkeling van

$$Sin.\ 2\,D' = \frac{2\ Tang\ D'}{1 + Tang^2\, D'}\ ,\ \text{en}\ Cos.\ 2\,D' = \frac{1 - Tang^2\, D'}{1 + Tang^2\, D'}$$

tot de 6de magt van *Tang* I, gevonden wordt:

$$\left.\begin{aligned} Sin.\ 2\,D' = {} & 2\ Tang\, I\ (1 - \tfrac{3}{4}\, Tang^2\, I + \tfrac{5}{8}\, Tang^4\, I)\ Sin.\ (☾ - \gamma) \\ & + \tfrac{1}{8}\ Tang^3\, I\ (4 - 5\ Tang\, I)\ Sin.\ 3\ (☾ - \gamma) \\ & + \tfrac{1}{16}\ Tang^5\, I\ Sin.\ 5\ (☾ - \gamma) \\ Cos.\ 2\,D' = {} & 1 - Tang^2\, I + \tfrac{3}{4}\, Tang^4\, I - \tfrac{5}{8}\ Tang^6\, I \\ & + Tang^2\, I\ (1 - Tang^2\, I + \tfrac{15}{16}\ Tang^4\, I)\ Cos.\ 2\ (☾ - \gamma) \\ & + \tfrac{1}{4}\ Tang^4\, I\ (1 - \tfrac{3}{2}\ Tang^2\, I)\ Cos.\ 4\ (☾ - \gamma) \\ & + \tfrac{1}{16}\ Tang^6\, I\ Cos.\ 6\ (☾ - \gamma) \end{aligned}\right\} \ \ldots (9)$$

of, bij verkorting:

$$Sin.\, 2\,D' = E\, Sin.(☾ - \gamma) + E_1\, Sin.\, 3\,(☾ - \gamma) + E_2\ Sin.\, 5\,(☾ - \gamma) + \text{enz.}$$
$$Cos.\, 2\,D' = 1 - 2\,G + 2\,G_1\ Cos.\,2\,(☾ - \gamma) + 2\,G_2\, Cos.\, 4\,(☾ - \gamma) + 2\,G_3\, Cos.\, 6\,(☾ - \gamma) + \text{enz.}$$

Daar de lengte α van den maansknoop in ééne maand ongeveer slechts 1°,6 vermindert, zoo zijn de coëfficienten E en G ook bijna standvastig gedurende dezelfde tijdruimte, even zoo wel als γ; en is het geheel voldoende voor I en γ eene gemiddelde waarde voor het tijdvak der berekening te gebruiken.

Wij bekomen alzoo:

$$\Sigma\ (3\, Cos.\,2\,D' - 1)\, \Delta^3 = (2 - 6\,G)\, \Sigma\, \Delta^3 + 6\,G_1\ \Sigma\, \Delta^3\, Cos.\, 2\,(☾ - \gamma) + \text{enz.}$$

Daar de sommatie geschiedt over weinig meer dan eene geheele maans-omwenteling, zoo is blijkbaar zeer nabij $\Sigma \Delta^3 = 30$ of 31; terwijl in den tweeden term $\Delta^3 = 1$ kan genomen worden.

De gemiddelde dagelijksche vermeerdering van de regte klimming der maan is . . . . $13°,1764$

De gemiddelde verandering van γ is gelijk aan den gemiddelden teruggang der maansknoopen, dus, per etmaal . . . . $-\ 0°,0529$

Alzoo: gemiddelde dagelijksche verandering van . . $(☾ - \gamma) = 13°,2293.$

Laat nu $\underline{(☾ - \gamma)}$ de waarde van dezen hoek zijn, voor het *midden* des tijdvaks van berekening, dan bekomt men:

$$\text{voor 30 dagen. . } \Sigma\, Cos.\, 2\,(☾ - \gamma) = \frac{Sin.\, 36°,88}{Sin.\, 13°,23}\, Cos.\, \underline{2\,(☾ - \gamma)} = 2{,}622\ Cos.\, \underline{2\,(☾ - \gamma)}$$

en

$$\text{voor 31 dagen. . } \Sigma\, Cos.\, 2\,(☾ - \gamma) = \frac{Sin.\, 50°,11}{Sin.\, 13°,23}\, Cos.\, \underline{2\,(☾ - \gamma)} = 3{,}352\ Cos.\, \underline{2\,(☾ - \gamma)}$$

De gemiddelde waarden, met 3 vermenigvuldigd, worden dus:

$$0{,}262\ Cos.\, \underline{2\,(☾ - \gamma)} \quad \text{en} \quad 0{,}324\ Cos.\, \underline{2\,(☾ - \gamma)}$$

waarvan men, uithoofde dat $2\,G_1$ een kleine factor is, het midden kiezen kan, geldende dan zoo wel voor 30 als voor 31 dagen, of men kan schrijven $0{,}293 \mp 0{,}031$ voor 30 of 31 dagen.

Wij vinden alzoo:

$$\tfrac{1}{30} \text{ of } \tfrac{1}{31}\ \Sigma\ (3\, Cos.\, 2\, D' - 1)\, \Delta^3 = 2 - 6\, G + (0{,}293 \mp 0{,}031) \times 2\, G_1\, Cos.\, \underline{2\,(☾ - \gamma)}$$
$$= 2 - 3\, Tang^2\, I + \tfrac{9}{4}\, Tang^4\, I$$
$$+ (0{,}293 \mp 0{,}031)\, Tang^2\, I\, Cos.\, \underline{2\,(☾ - \gamma)}.$$

De twee volgende termen die van de maan afhangen in (7), zijn:

$$(X_1)\ \Sigma\, \Delta^3\ Sin.\, P\ Sin.\, 2\, D' + (Y_1)\ \Sigma\, \Delta^3\ Cos.\, P\ Sin.\, 2\, D'$$

Deze worden:

$$(X_1)\ \Sigma\ \Delta^3\ (E\, Sin\ (☾ - \gamma)\, Sin.\, P + E_1\ Sin.\, 3\,(☾ - \gamma)\, Sin.\, P)$$
$$+ (Y_1)\ \Sigma\ \Delta^3\ (E\, Sin.\, (☾ - \gamma)\, Cos.\, P + E_1\ Sin.\, 3\,(☾ - \gamma)\, Sin.\, P)$$
$$= \tfrac{1}{2}(X_1)\Sigma\Delta^3 \Big\{ E\big(Cos.(☾ - P - \gamma) - Cos.(☾ + P - \gamma)\big) + E_1\big(Cos.(3☾ - P - 3\gamma) - Cos.(3☾ + P - 3\gamma)\big) \Big\}$$
$$+ \tfrac{1}{2}(Y_1)\Sigma\Delta^3 \Big\{ E\big(Sin.(☾ - P - \gamma) + Sin.(☾ + P - \gamma)\big) + E_1\big(Sin.(3☾ - P - 3\gamma) + Sin.(3☾ + P - 3\gamma)\big) \Big\}$$

Maar indien $\odot$ de regte klimming der zon voorstelt, dan heeft men:

$$\odot + p = \leftmoon + P$$

waaruit

$$P = \odot + p - \leftmoon$$

Brengende deze waarde in de bovenstaande uitdrukking, komt:

$$-\tfrac{1}{2}(X_1)\Sigma\Delta^3\Big\{E\big(Cos.(\odot+p-\gamma)-Cos.(2\leftmoon-\odot-p-\gamma)\big)+E_1\big(Cos.(2\leftmoon+\odot+p-3\gamma)-Cos.(4\leftmoon-\odot-p-3\gamma)\big)\Big\}$$
$$+\tfrac{1}{2}(Y_1)\Sigma\Delta^3\Big\{E\big(Sin.(\odot+p-\gamma)+Sin.(2\leftmoon-\odot-p-\gamma)\big)+E_1\big(Sin.(2\leftmoon+\odot+p-3\gamma)-Sin.(4\leftmoon-\odot-p-3\gamma)\big)\Big\}$$

De beide termen dezer uitdrukking waarin $\leftmoon$ of de regte klimming der maan *niet* voorkomt, zijn blijkbaar de voornaamste, omdat, terwijl p standvastig blijft, de boog $\odot + p - \gamma$ slechts weinig verandert. De beide volgende termen die van $(2\leftmoon - \odot + p - \gamma)$ afhangen, kunnen slechts weinig bijdragen. De overige termen zullen wij geheel verwaarloozen, zoowel omdat de boog $(2\leftmoon + \odot + p - 3\gamma)$ ruim twee omtrekken doorloopt, als omdat E_1 van de *derde orde* is. Hetzelfde geldt van de beide laatste termen. Ook blijkt, om nagenoeg dezelfde reden als vroeger, dat wij $\Delta^3 = 1$ mogen nemen.

Aldus bekomen wij de eenvoudiger uitdrukking:

$$-\tfrac{1}{2}E\,(X_1)\;\Sigma\;\big(Cos.\,(\odot+p-\gamma) - Cos.\,(2\leftmoon-\odot-p-\gamma)\big)$$
$$+\tfrac{1}{2}E\,(Y_1)\;\Sigma\;\big(Sin.\,(\odot+p-\gamma) + Sin.\,(2\leftmoon-\odot-p-\gamma)\big)$$

De gemiddelde verandering van $\odot$ per etmaal is $0°,9857$

» γ » » » $-0°,0529$

van $\odot - \gamma$ . . . $1°,0386$

Laat weder $\underline{\odot + p - \gamma}$ de waarde van dezen boog voor het *midden* des tijdvaks zijn, dan hebben wij: gemiddeld

in 30 dagen. . . $\frac{1}{30}\,\Sigma\,\frac{Sin.}{Cos.}(\odot+p-\gamma) = \frac{Sin.}{Cos.}(\underline{\odot+p-\gamma}) \times \frac{Sin.\ 15,579}{30 \times Sin.\ 0°,5193}$

en

in 31 dagen. . . $\frac{1}{31}\,\Sigma\,\frac{Sin.}{Cos.}(\odot+p-\gamma) = \frac{Sin.}{Cos.}(\underline{\odot+p-\gamma}) \times \frac{Sin.\ 16°,098}{31 \times Sin.\ 0°,5193}$

De coëfficienten worden 0,9877 en 0,9869, waarvoor gemiddeld 0,9873 genomen kan worden $= \frac{79}{80}$ zeer nabij.

De gemiddelde verandering van $2\,\text{☾}-\odot$ per etmaal is 25°,3675
» γ » » » — 0°,0529

dus van $(2\,\text{☾}-\odot-p-\gamma)$ 25°,4202

Alzoo komt: gemiddeld

in 30 dagen . $\frac{1}{30}\,\Sigma\,\frac{Sin.}{Cos.}(2\,\text{☾}-\odot-p-\gamma)=\frac{Sin.}{Cos.}\underline{(2\,\text{☾}-\odot-p-\gamma)}\times\frac{Sin.\ 21{,}°30}{30\times Sin.\ 12°{,}71}$

en

in 31 dagen . $\frac{1}{31}\,\Sigma\,\frac{Sin.}{Cos.}(2\,\text{☾}-\odot-p-\gamma)=\frac{Sin.}{Cos.}\underline{(2\,\text{☾}-\odot-p-\gamma)}\times\frac{Sin.\ 34°{,}01}{31\times Sin.\ 12°{,}71}$

De coëfficienten zijn 0,055 en 0,082, waarvoor men gemiddeld ook weder $\frac{1}{15}$ kan nemen.

Wij vinden dus, voor de gemiddelde som:

$$-\tfrac{1}{2}\,E\,(X_1)\left\{\tfrac{79}{80}\,Cos.\ \underline{(\odot+p-\gamma)}-\tfrac{1}{15}\,Cos.\ \underline{(2\,\text{☾}-\odot-p-\gamma)}\right\}$$
$$+\tfrac{1}{2}\,E\,(Y_1)\left\{\tfrac{79}{80}\,Sin.\ \underline{(\odot+p-\gamma)}+\tfrac{1}{15}\,Sin.\ \underline{(2\,\text{☾}-\odot-p-\gamma)}\right\}$$

Dat is:

$$\tfrac{1}{2}\,E\left\{(X_1)\left(\tfrac{79}{80}\,Sin.\ \underline{(\odot-\gamma)}+\tfrac{1}{15}\,Sin.\ \underline{(2\,\text{☾}-\odot-\gamma)}\right)+(Y_1)\left(\tfrac{79}{80}\,Cos.\ \underline{(\odot-\gamma)}-\tfrac{1}{15}\,Cos.\ \underline{(2\,\text{☾}-\odot-\gamma)}\right)\right\}Sin.\ p$$

$$-\tfrac{1}{2}\,E\left\{(X_1)\left(\tfrac{79}{80}\,Cos.\ \underline{(\odot-\gamma)}-\tfrac{1}{15}\,Cos.\ \underline{(2\,\text{☾}-\odot-\gamma)}\right)-(Y_1)\left(\tfrac{79}{80}\,Sin.\ \underline{(\odot-\gamma)}+\tfrac{1}{15}\,Sin.\ \underline{(2\,\text{☾}-\odot-\gamma)}\right)\right\}Cos.\ p$$

zijnde

$$\tfrac{1}{2}\,E=Tang\,I\,(1-\tfrac{3}{4}\,Tang^2\,I).$$

Voor het herleiden der termen

$$(X_2)\ \Sigma\ Sin.\ 2\,P\,\Delta^3\,Cos.^2\,D'+(Y_2)\ \Sigma\ Cos.\ 2\,P\,\Delta^3\,Cos.^2\,D'$$

heeft men:

$$Cos.^2\,D=\frac{1+Cos.\,2\,D}{2}$$
$$=1-G+G_1\,Cos.\ 2\,(\text{☾}-\gamma)+\text{enz.}$$

waardoor zij overgaan in:

$$(1-G)\,\{(X_2)\,\Sigma\,\Delta^3\ Sin.2\,P + (Y_2)\,\Sigma\,\Delta^3\ Cos.2\,P\}$$

$$+\ G_1\,\{(X_2)\,\Sigma\,\Delta^3\,Sin.2\,P\,Cos.2\,(☾-\gamma) + (Y_2)\,\Sigma\,\Delta^3\,Cos.2\,P\,Cos.2\,(☾-\gamma)\} + \text{enz.}$$

Wij hebben tot nu toe $\Delta^3 = 1$ kunnen stellen. Met behoud van denzelfden graad van benadering, kan dit in de beide eerste termen dezer laatste uitdrukking niet volkomen meer geschieden, zoowel wegens den *niet kleinen* factor $(1-G)$ als omdat X_2 en Y_2 de grootste der verschillende getallen X en Y zijn. De fout, die men begaat door Δ^3 standvastig $= 1$ te nemen, kan op de *gemiddelde* som der termen, die met $1-G$ vermenigvuldigd zijn, ongeveer $\pm$ 0,005 van het gemiddeld bedrag beloopen. *

Nu is weder:

$$P = ☉ - ☾ + p$$

dus

$$(X_2)\,Sin.2\,P + (Y_2)\,Cos.2\,P = -(X_2)\,Sin.2\,(☾-☉-p) + (Y_2)\,Cos.2\,(☾-☉-p)$$

$$= \{(X_2)\,Cos.2\,(☾-☉) + (Y_2)\,Sin.2\,(☾-☉)\}\ Sin.2\,p$$

$$-\ \{(X_2)\,Sin.2\,(☾-☉) - (Y_2)\,Cos.2\,(☾-☉)\}\ Cos.2\,p$$

Zij nu $\Delta^3 = 1 + z$, dan hebben wij te bepalen:

$$\Sigma\,(1+z)\,Cos.2\,(☾-☉) = \Sigma\,Cos.2\,(☾-☉) + \Sigma\,z\,Cos.2\,(☾-☉)$$

en

$$\Sigma\,(1+z)\,Sin.2\,(☾-☉) = \Sigma\,Sin.2\,(☾-☉) + \Sigma\,z\,Sin.2\,(☾-☉)$$

De gemiddelde verandering van $2\,(☾-☉)$ per etmaal is 24°,5816; hieruit vindt men:

gemiddeld in 30 dagen $\frac{1}{30}\,\Sigma\,\frac{Sin.}{Cos.}\,2\,(☾-☉) = \frac{Sin.}{Cos.}\,\underline{2\,(☾-☉)} \times \frac{Sin.\ 5°,72}{30 \times Sin.\ 12°,19}$

" in 31 dagen $\frac{1}{31}\,\Sigma\,\frac{Sin.}{Cos.}\,2\,(☾-☉) = \frac{Sin.}{Cos.}\,\underline{2\,(☾-☉)} \times \frac{Sin.\ 17°,91}{31 \times Sin.\ 12°,19}$

De coëfficienten zijn:

voor 30 dagen . . 0,016, voor 31 . . 0,047, dat is . . (0,031 $\mp$ 0,016)

Wanneer men z wil in aanmerking nemen, dan zoude z kunnen uitgedrukt

* Hier achter is eene Tafel gevoegd van de waarde van Δ^3 voor de verschillende waarden der parallaxis, de gemiddelde $= 57'$ genomen zijnde.

worden in functie van de middelbare anomalie der maan; waarna de sommatie der termen weder op dezelfde wijze zoude kunnen plaats hebben. Hierdoor verkrijgt men echter het ongemak, dat weder een nieuwe hoek, te weten de lengte van het perigeum ingevoerd wordt. Het schijnt dus gemakkelijker in dit geval, om de som der termen $\Delta^3 \times \frac{Sin.}{Cos.}\, 2\,(☾ — ⊙)$ regtstreeks te vinden, waarbij het voldoende zijn zal, om $\Sigma\, Sin.\, 2\,(☾ — ⊙)$ en $\Sigma\, Cos.\, 2\,(☾ — ⊙)$ voor 7 of 8 achtereenvolgende dagen, regtstreeks door optelling te vinden, en de sommen te vermenigvuldigen met de gemiddelde waarde van Δ^3, gedurende de 7 of 8 dagen, waarna men vier gedeeltelijke sommen zamenvoegt, en het beloop door 30 of 31 deelt, aldus:

$$\Sigma_1^{30} \Delta^3 \cdot \frac{Sin.}{Cos.} 2(☾ - ⊙) = \underline{\Delta}^3 \Sigma_1^{7} \frac{Sin.}{Cos.} 2(☾ - ⊙) + \underline{\underline{\Delta}}^3 \Sigma_8^{15} \frac{Sin.}{Cos.} 2(☾ - ⊙) + \underline{\underline{\underline{\Delta}}}^3 \Sigma_{16}^{22} \frac{Sin.}{Cos.} 2(☾ - ⊙) + \underline{\underline{\underline{\underline{\Delta}}}}^3 \Sigma_{23}^{30} \frac{Sin.}{Cos.} 2(☾ - ⊙)$$

waarbij $\underline{\Delta}^3$, $\underline{\underline{\Delta}}^3$, $\underline{\underline{\underline{\Delta}}}^3$, $\underline{\underline{\underline{\underline{\Delta}}}}^3$ de gemiddelde waarde dezer grootheid, in ieder gedeeltelijk tijdvak aanwijzen. Wij zullen, eenvoudigheidshalve, voor de ontwikkeling der termen van (7), $z = o$ onderstellen. Alzoo hebben wij:

$$(1-G)\ \{(X_2)\ \Sigma\, \Delta^3\, Sin.\, 2\, P + (Y_2)\ \Sigma\, \Delta^3\ Cos.\, 2\, P)\}$$
$$= (1-G) \times (0{,}031 \mp 0{,}016)\ \{(X_2)\ Cos.\, \underline{2\,(☾ - ⊙)} + (Y_2)\, Sin.\, \underline{2\,(☾ - ⊙)}\}\ Sin.\, 2p$$
$$- (1-G) \times (0{,}031 \mp 0{,}016)\ \{(X_2)\ Sin.\, \underline{2\,(☾ - ⊙)} - (Y_2)\, Cos.\, \underline{2\,(☾ - ⊙)}\}\ Cos.\, 2p$$

zijnde

$$G = \tfrac{1}{2}\ Tang^2\, I\ (1 - \tfrac{3}{4}\ Tang^2\, I).$$

Voor het herleiden der beide volgende termen hebben wij:

$$Sin.\, 2\, P\ Cos.\, 2\,(☾ - \gamma) = \tfrac{1}{2}\ Sin.\, 2\,(☾ + P - \gamma) - \tfrac{1}{2}\ Sin.\, 2\,(☾ - P - \gamma)$$
$$= \tfrac{1}{2}\ Sin.\, 2\,(⊙ + p - \gamma) - \tfrac{1}{2}\ Sin.\, 2\,(2\,☾ - ⊙ - p - \gamma)$$

$$Cos.\, 2\, P\ Cos.\, 2\,(☾ - \gamma) = \tfrac{1}{2}\ Cos.\, 2\,(☾ + P - \gamma) + \tfrac{1}{2}\ Cos.\, 2\,(☾ - P - \gamma)$$
$$= \tfrac{1}{2}\ Cos.\, 2\,(⊙ + p - \gamma) + \tfrac{1}{2}\ Cos.\, 2\,(2\,☾ - ⊙ - p - \gamma)$$

De boog $2\,(⊙ + p - \gamma)$ verandert betrekkelijk weinig: de andere $2\,(2☾ - ⊙ - p - \gamma)$ daarentegen ruim 50° per dag. De *Sinus* en *Cosinus* van dezen laatsten boog verwisselen dus meermalen van teeken, zoodat de som der *Sinussen* of *Cosinussen* nimmer van eenig bedrag kan worden. Hierom, en om de vermenigvuldiging met G_1, kunnen wij den boog $4\,☾ - 2\,⊙ - 2p - 2\gamma$ van de sommatie uitsluiten.

Δ^3 kunnen wij weder = 1 stellen; alzoo komt:

$$\Sigma\ \Delta^3\ Sin.\ 2\,P\ Cos.\ 2\,(☾-\gamma) = \tfrac{1}{2}\ \Sigma\ Sin.\ 2\,(\odot-\gamma+p)$$
$$\Sigma\ \Delta^3\ Cos.\ 2\,P\ Cos.\ 2\,(☾-\gamma) = \tfrac{1}{2}\ \Sigma\ Cos.\ 2\,(\odot-\gamma+p)$$

De gemiddelde verandering van $\odot$ in 24^u is . = 0,9857
» » » » γ = — 0,0529
1,0586

dus is:

voor 30 dagen . . $\frac{1}{60}\ \Sigma\ {Sin. \atop Cos.}\ 2\,(\odot-\gamma+p) = {Sin. \atop Cos.}\ \underline{2\,(\odot-\gamma+p)} \times \dfrac{Sin.\ 31°,158}{60\ \times\ Sin.\ 1°,039}$

en

voor 31 dagen . . $\frac{1}{62}\ \Sigma\ {Sin. \atop Cos.}\ 2\,(\odot-\gamma+p) = {Sin. \atop Cos.}\ \underline{2\,(\odot-\gamma+p)} \times \dfrac{Sin.\ 32°,197}{62\ \times\ Sin.\ 1°,039}$

De coëfficienten zijn 0,4757 en 0,4740,
of voor beide gevallen, gemiddeld 0,475

Alzoo verkrijgen wij:

$$G_1\ \{(X_2)\ \Sigma\ \Delta^3\ Sin.\ 2\,P\ Cos.\ 2\,(☾-\gamma) + (Y_2)\ \Sigma\ \Delta^3\ Cos.\ 2\,P\ Cos.\ 2\,(☾-\gamma)\}$$
$$= 0{,}475\ G_1\ \{(X_2)\ Cos.\ \underline{2\,(\odot-\gamma)} - (Y_2)\ Sin.\ \underline{2\,(\odot-\gamma)}\}\ Sin.\ 2p$$
$$+\ 0{,}475\ G_1\ \{(X_2)\ Sin.\ \underline{2\,(\odot-\gamma)} + (Y_2)\ Cos.\ \underline{2\,(\odot-\gamma)}\}\ Cos.\ 2p,$$

waarbij:

$$G_1 = \tfrac{1}{2}\ Tang^2\,I\ (1 - Tang^2\,I).$$

Komen eindelijk de vier laatste termen van (7), welke van 3 P en 4 P afhangen. Nemende hier nogmaals $\Delta^3 = 1$, zoo omdat (X_3) en (Y_3), (X_4) en (Y_4) kleine grootheden zijn, als om de veelvuldige afwisseling van teeken, die er in de *Sinussen* en *Cosinussen* der bogen, in den loop eener maand plaats hebben, komt:

$$\Sigma\ Sin.\ 3\,P = \Sigma\ Sin.\ 3\,(\odot-☾+p) = -\ \Sigma\ Sin.\ 3\,(☾-\odot-p)$$
$$\Sigma\ Cos.\ 3\,P = \Sigma\ Cos.\ 3\,(\odot-☾+p) = +\ \Sigma\ Cos.\ 3\,(☾-\odot-p)$$

De gemiddelde verandering van $3\,(☾-\odot)$ per dag is + 36°,5724. Hierdoor worden de coëfficienten gevonden, waardoor de *Sinus* en *Cosinus* des gemiddelden boogs moeten vermenigvuldigd worden:

voor 30 dagen . . $\dfrac{-\ Sin.\ 8°,59}{30\ Sin.\ 18°,29} = -\ 0{,}016,$

voor 31 dagen . . $\dfrac{-\ Sin.\ 26°,88}{31\ Sin.\ 18°,29} = -\ 0{,}046.$

Voorts:

$$\Sigma\ Sin.\ 4\,P = \Sigma\ Sin.\ 4\,(\odot - ☾ + p) = -\ \Sigma\ Sin.\ 4\,(☾ - \odot - p)$$

$$\Sigma\ Cos.\ 4\,P = \Sigma\ Cos.\ 4\,(\odot - ☾ + p) = +\ \Sigma\ Cos.\ 4\,(☾ - \odot - p)$$

De gemiddelde verandering van $4\,(☾ - \odot)$ is $+\ 48°,7632$. Hierdoor vindt men de coëfficienten:

$$\text{voor 30 dagen . .}\ \frac{+\ Sin.\ 11°,45}{30 \times Sin.\ 24°,38} = +\ 0{,}016$$

$$\text{voor 31 dagen . .}\ \frac{+\ Sin.\ 35°,83}{31 \times Sin.\ 24°,38} = +\ 0{,}046.$$

Alzoo wordt:

$$(X_3)\ \Sigma Sin.\ 3\,P\,.\,\Delta^3 + (Y_3)\ \Sigma Cos.\ 3\,P\,.\,\Delta^3 + (X_4)\ \Sigma Sin.\ 4\,P\,.\,\Delta^3 + (Y_4)\ \Sigma Cos.\ 4\,P\,.\,\Delta^3$$

$$= (0{,}031 \mp 0{,}015) \left\{ \begin{array}{l} (X_3)\ Sin.\ \underline{3\,(☾ - \odot - p)} - (Y_3)\ Cos.\ \underline{3\,(☾ - \odot - p)} \\ -\ (X_4)\ Sin.\ \underline{4\,(☾ - \odot - p)} + (Y_4)\ Cos.\ \underline{4\,(☾ - \odot - p)} \end{array} \right\}$$

Deze termen kunnen geheel verwaarloosd worden, uithoofde van de geringe waarde der getallen coëfficienten, als omdat de X_3, Y_3 en X_4, Y_4 kleine grootheden zijn.

Verzamelende nu de gevonden sommen, zoo komt voor de gemiddelde som der waterhoogten op hetzelfde uur van den dag, gedurende 30 of 31 achtereenvolgende dagen, stellende

voor de zon:

$$k = \underline{\delta^3}\ (3\ \underline{Cos.\ 2\,D} - 1),$$

$$k_1 = \underline{\delta^3}\ \underline{Sin.\ 2\,D}\ ,$$

$$k_2 = \underline{\delta^3}\ \underline{Cos.\ ^2 D}\ ,$$

$$k_3 = k_4 = \underline{\delta^3}\ ;$$

voor de maan:

$$K = 2 - 3\ Tang^2 I + (0{,}293 \mp 0{,}031)\ Tang^2 I\ Cos.\ \underline{2\,(☾ - \gamma)}\ ,$$

$$\tfrac{1}{2}.E = Tang\,I\ (1 - \tfrac{3}{4}\ Tang^2 I)\ ,$$

$$m_1 = \tfrac{1}{2}\ E\ \left\{\tfrac{79}{80}\ Sin.\ \underline{(\odot - \gamma)} + (0{,}078 \mp 0{,}013)\ Sin.\ \underline{(2\,☾ - \odot - \gamma)}\right\}\ ,$$

$$n_1 = \tfrac{1}{2}\ E\ \left\{\tfrac{79}{80}\ Cos.\ \underline{(\odot - \gamma)} - (0{,}078 \mp 0{,}013)\ Cos.\ \underline{(2\,☾ - \odot - \gamma)}\right\}\ ,$$

$$G = \tfrac{1}{2}\ Tang^2 I\ (1 - \tfrac{3}{4}\ Tang^2 I)$$

$$G_1 = \tfrac{1}{2}\ Tang^2 I\ (1 - Tang^2 I)$$

$$m_2 = \left\{0{,}475\, G_1 + (0{,}031 \mp 0{,}016)\,(1-G)\right\} Cos.\, 2\,\underline{(\odot-\gamma)} + (1-G)\ \Sigma z\, Cos.\, 2\,(\odot-\gamma),$$

$$n_2 = \left\{0{,}475\, G_1 - (0{,}031 \mp 0{,}016)\,(1-G)\right\} Sin.\, 2\,\underline{(\odot-\gamma)} - (1-G)\ \Sigma z\, Sin.\, 2\,(\odot-\gamma):$$

$$\begin{aligned} Gemidd.\ h = {} & Gemidd.\ M + k\,(a) + K\,(A) \\ & + \{k_1\,(x_1) + m_1\,(X_1) + n_1\,(Y_1)\}\ Sin.p \\ & + \{k_1\,(y_1) - n_1\,(X_1) + m_1\,(Y_1)\}\ Cos.p \\ & + \{k_2\,(x_2) + m_2\,(X_2) - n_2\,(Y_2)\}\ Sin.\,2p \\ & + \{k_2\,(y_2) + n_2\,(X_2) + m_2\,(Y_2)\}\ Cos.\,2p \\ & + k_3\,(x_3)\ Sin.\,3p + k_3\,(y_3)\,Cos.\,3p + k_4\,(x_4)\,Sin.\,4p + k_4\,(y_4)\,Cos.\,4p\,. \end{aligned} \tag{10}$$

De bovenste teekens in de uitdrukkingen van m en n, gelden voor 30 dagen, de onderste voor 31 dagen.

Herinnerd zij, dat γ de regte klimming voorstelt van het doorsnijdingspunt van den maansweg en equator, waar de declinatie van zuid tot noord verandert, en I de hoek tusschen de beide genoemde cirkels, of anders de *grootste* declinatie der maan. Beide grootheden kunnen hierdoor gemakkelijk, zonder trigonometrische berekeningen in den Almanak gezocht worden, schoon ook gemakkelijk een tafeltje kan gemaakt worden, waarin, voor elke gegeven lengte van den maans-klimmenden knoop of i, γ en I gevonden worden, of, beter nog, terstond de hier benoodigde fuctiën van *Tang* I. De *onderstreepte* bogen duiden de waarde dezer grootheden aan voor het *midden* der 30 of 31 dagen. Ten einde in rekening te brengen, dat de declinatie der maan, welke tot het waargenomen getij behoort, en die, zoo als bekend is, $1\frac{1}{2}$ of 2 dagen eerder heeft plaats gevonden dan het oogenblik van waarneming, kan men, in de berekening der getallen K, m_1, n_1, m_2, n_2, den boog γ met *zooveel vermeerderen als het gemiddeld verloop in regte klimming der maan bedraagt gedurende de genoemde $1\frac{1}{2}$ of 2 dagen*, zonder aan I te veranderen. Hierdoor toch wordt het argument der declinatie van de maan, ☾ — γ, evenveel *verminderd*, en bijgevolg de declinatie in rekening gebragt welke *vroeger* heeft plaats gehad. — Het is doelmatiger om 2 dan $1\frac{1}{2}$ dag voor onze havens te kiezen, omdat wij verder van den evenaar verwijderd zijn, dan de haven van Brest, waar $1\frac{1}{2}$ dag gevonden is. — Overigens zullen de uitkomsten der berekeningen het bedrag dezer vertraging van het getij nader moeten aanwijzen.

Er is nog eene andere opmerking te doen omtrent de termen der uitdrukkingen (10) waarin de regte klimming der maan of ☾ voorkomt. Deze termen

kunnen eigenlijk niet gedurende eenen dag als *standvastig* beschouwd worden, en dus ook niet de getallen K, m_1 en n_1; waaruit volgt, dat de waarde der getallen P_1, Q_1 enz. van (12) eigenlijk eene verbetering zoude behoeven. Uit hoofde echter van de kleine getallen-waarde der coëfficienten van $\begin{matrix} Sin. \\ Cos. \end{matrix} (2☾ - ☉ - \gamma)$ en van $Cos.\ 2(☾ - \gamma)$ in (10), zal het voldoende wezen om voor m_1 en n_1 enz. eene waarde te kiezen voor het *midden* der 24^u, dat is voor 's nachts ten 12^u, en dit middengetal als standvastig te beschouwen. Het voldoende dezer handelwijze zal nog nader blijken.

Het blijkt uit de gevondene uitdrukking, dat door het gemiddelde te nemen der waterhoogten, op het *zelfde* uur van den dag, gedurende eene maand, het er verre van af is, dat de uitwerking der maan zoude geëlimineerd zijn. Bijzonder is dit het geval met het getij dat eenmaal 's daags plaats heeft, dat eene functie is van de enkelvoudige uurhoeken p en P. De reden hiervan is, dat, ja wel *Sin.* en *Cos.* P, in den loop eener maand eene periode van teeken-afwisseling doorloopen, maar dat *Sin.* 2 D' dit ook doet, waardoor de som der waarden van *Sin.* 2 D' *Sin.* $(P + B_1)$ niet klein of 0 kan worden. Bij het half-dagelijksche getij blijft weder de uitwerking der maan, voornamelijk ten gevolge van de voortgaande beweging der zon; zoo als dit uit de ontwikkeling bladz. 14 blijkt.

De termen die van *Sin.* en *Cos.* $3p$ en $4p$ afhangen schijnen in (10) niet meer van de maan af te hangen; wij moeten echter opmerken, dat dit alleen is omdat wij de coëfficienten van *Sin.* en *Cos.* 3 P en 4 P *standvastig*, onafhankelijk van D', in rekening gebragt hebben, iets dat niet waarschijnlijk is. Om dus de waarden van (x_3), (y_3), (x_4), (y_4) te bepalen, zal men het midden uit 12 maanden dienen te nemen, in welken tijd $☉ - \gamma$ ook nagenoeg 360° doorloopt.

Verder volgt, uit de waarden van K en k, dat de *gemiddelde* waterhoogte ook niet erlangd wordt, door het middelen der hoogten gedurende eene maand, maar dat deze gemiddelde hoogte onderworpen is aan eene ongelijkheid, waarvan de periode ongeveer 1 jaar beloopt, volgens k, en aan eene andere van ongeveer 19 jaren volgens K. Wil men dan de gemiddelde waterhoogte zuiver bevrijden van de periodieke uitwerkingen der aantrekking van zon en maan, in een minder tijdsverloop dan 19 jaren, dan zal dit alleen door eene geschikte combinatie van op verschillende tijden gevonden *gemiddelden* kunnen geschieden, naar aanleiding der waarden van k en K.

Hetgeen nu te doen is, bestaat in het afleiden van de waarden van den *eersten* term en van de coëfficienten van *Sin.* en *Cos. p*, *Sin.* en *Cos.* $2p$ enz. uit de 24 gemiddelde hoogten, die wij onderstellen, dat verkregen zijn voor de verschillende uren des etmaals. Wij hebben dus een stel van 24 vergelijkingen van den vorm:

$$N_i = Q + P_1 \, Sin. p + Q_1 \, Cos. p + P_2 \, Sin. 2p + Q_2 \, Cos. 2p + \text{enz.}$$

op te lossen, waarin i van 0 tot 23 gaat, en P en Q de onbekenden zijn: hiertoe bestaat, gelijk bekend is, een zeer eenvoudige gang.

Men heeft, vooreerst, om Q te vinden, door het optellen van al de 24 gemiddelden:

$$\Sigma_0^{23} N_i = 24 Q \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (a)$$

Vervolgens om eenigen coëfficient P_n of Q_n te vinden, vermenigvuldige men al de vergelijkingen naar de rij af met *Sin. np* of *Cos. np*, en neme de som van de 24 producten, dan komt:

$$\begin{aligned} \Sigma_0^{23} N_i \, Sin. np = Q \, \Sigma_0^{23} Sin. np &+ P_1 \, \Sigma_0^{23} Sin. p \, Sin. np + Q_1 \, \Sigma_0^{23} Cos. p \, Sin. np \\ &+ P_2 \, \Sigma_0^{23} Sin. 2p \, Sin. np + Q_2 \, \Sigma_0^{23} Cos. 2p \, Sin. np \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &+ P_n \, \Sigma_0^{23} Sin.^2 np \qquad + Q_n \, \Sigma_0^{23} Cos. np \, Sin. np \\ &+ \text{enz.} \end{aligned}$$

Maar omdat de hoeken p regelmatig van 0 tot 345° met 15° telkens opklimmen, zoo heeft men:

$$\Sigma_0^{23} Sin. np = 0$$

$$\Sigma_0^{23} Sin. p \, Sin. np = \tfrac{1}{2} \, \Sigma_0^{23} Cos. (n-1) p - \tfrac{1}{2} \, \Sigma_0^{23} Cos. (n+1) p = 0$$

$$\Sigma_0^{23} Cos. p \, Sin. np = \tfrac{1}{2} \, \Sigma_0^{23} Sin. (n-1) p + \tfrac{1}{2} \, \Sigma_0^{23} Sin. (n+1) p = 0$$

en zoo met alle overige termen, die alle verdwijnen, met uitzondering alleen van den term:

$$\Sigma_0^{23} Sin.^2 np = \tfrac{1}{2} \, \Sigma_0^{23} (1 - Cos. 2np) = \tfrac{1}{2} \, \Sigma_0^{23} 1 = 12.$$

Aldus bekomt men:

$$\Sigma_0^{23} N_i \, Sin. np = 12 P_n \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (b)$$

en op dezelfde wijze:

$$\Sigma_0^{23} N_i \, Cos. np = 12 Q_n \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (c)$$

Langs dezen weg kan men de coëfficienten P en Q vinden tot P_{11} en Q_{11} toe: dus 22 onbekenden, en met de eerste waarde Q mede genomen, 23 onbekenden bepalen. Eigenlijk zijn het 24 onbekenden; omdat de eerste P mede moet gerekend worden als factor van $Sin.\ o \times p$, even als Q factor is van $Cos.\ o \times p = 1$. Het zoude echter niet doelmatig zijn om de uitwerking tot P_{11} en Q_{11} voort te zetten; omdat de gevondene waarden van N_i slechts gemiddelde getallen zijn, en dus niet naauwkeurig kunnen wezen. Beter is het, zoo als wij in (7) en (10) geschreven hebben, de uitdrukking bij P_4 en Q_4 te beperken, en, voor zoo ver de 24 waarden van N_i niet volkomen door deze eerste termen voorgesteld worden, het ontbrekende als fouten der waarnemingen, of als gevolgen van de storende invloeden van wind- en luchtdruk aan te merken. Deze invloeden hebben overigens al hunnen invloed op den eersten term Q, terwijl zij van weinig invloed zijn op de volgende coëfficienten P_1, Q_1 enz. en dit wel om de reden, die reeds door LAPLACE is opgegeven, dat, zoo de wind eene vloedhoogte vergroot, dit ongeveer evenzoo het geval zijn zal met de onmiddelijk volgende eb- en vloedhoogten. De *veranderingen* in de uitwerking van den wind op de hoogte des waters, *gedurende een* etmaal komen dus *alleen* als fouten in de waarden van P_1, Q_1, P_2, Q_2 enz. voor. Hieruit volgt dat bij *regelmatig* dagelijks afwisselende winden, zoo als in de Tropische gewesten, de invloed hiervan op P_1, Q_1 enz. niet twijfelachtig schijnt, doch, dat het bij ons van minder beteekenis is. Hetzelfde geldt, omtrent de *regelmatig* voortgaande veranderingen in de hoogte des barometers; deze moeten vooral invloed hebben op de waarde der termen P_2 en Q_2, omdat de barometer-hoogte ook twee *maxima* en twee *minima* in 24^u bereikt.

Opmerkelijk is het, dat de wijze om Q, P_1, Q_1 enz. te vinden, door (*a*), (*b*) en (*c*) aangewezen, juist overeenstemt met de oplossingswijze volgens de manier der kleinste kwadraten, voor het geval dat men de uitdrukking b.v. tot P_4 en Q_4 beperkt. — Wij bekomen dus, volgens de formulen (*a*), (*b*) en (*c*), ter bepaling der coëfficienten van (10), de meer ontwikkelde uitdrukkingen:

$$\left.\begin{aligned} 24\,Q &= \{N_0 + N_1 + N_2 + N_3 \ldots\ldots + N_{23}\} \\ 12\,P_1 &= (N_0 - N_{12}) + (N_1 - N_{11} - N_{13} + N_{23})\,Sin.75^\circ + (N_2 - N_{10} - N_{14} + N_{22})\,Sin.60^\circ \\ &\quad + (N_3 - N_9 - N_{15} + N_{21})\,Sin.45^\circ + (N_4 - N_8 - N_{16} + N_{20})\,Sin.30^\circ \\ &\quad + (N_5 - N_7 - N_{17} + N_{19})\,Sin.15^\circ \end{aligned}\right\} (11)$$

$$
\left.\begin{aligned}
12\,Q_1 &= (N_6 - N_{18}) + (N_5 + N_7 - N_{17} - N_{19})\,Sin.75^\circ + (N_4 + N_8 - N_{16} - N_{20})\,Sin.60^\circ \\
&\quad + (N_3 + N_9 - N_{15} - N_{21})\,Sin.45^\circ + (N_2 + N_{10} - N_{14} - N_{22})\,Sin.30^\circ \\
&\quad + (N_1 + N_{11} - N_{13} - N_{23})\,Sin.15^\circ \\
12\,P_2 &= (N_0 - N_6 + N_{12} - N_{18}) + (N_1 - N_5 - N_7 + N_{11} + N_{13} - N_{17} - N_{19} + N_{23})\,Sin.60^\circ \\
&\quad + (N_2 - N_4 - N_8 + N_{10} + N_{14} - N_{16} - N_{20} + N_{22})\,Sin.30^\circ \\
12\,Q_2 &= (N_3 - N_9 + N_{15} - N_{21}) + (N_2 + N_4 - N_8 - N_{10} + N_{14} + N_{16} - N_{20} - N_{23})\,Sin.60^\circ \\
&\quad + (N_1 + N_5 - N_7 - N_{11} + N_{13} + N_{17} - N_{19} - N_{23})\,Sin.30^\circ \\
12\,P_3 &= (N_0 - N_4 + N_8 - N_{12} + N_{16} - N_{20}) \\
&\quad + (N_1 - N_3 - N_5 + N_7 + N_9 - N_{11} - N_{13} + N_{15} + N_{17} - N_{19} - N_{21} + N_{23})\,Sin.45^\circ \\
12\,Q_3 &= (N_2 - N_6 + N_{10} - N_{14} + N_{18} - N_{22}) \\
&\quad + (N_1 + N_3 - N_5 - N_7 + N_9 + N_{11} - N_{13} - N_{15} + N_{17} + N_{19} - N_{21} - N_{23})\,Sin.45^\circ \\
12\,P_4 &= (N_0 - N_3 + N_6 - N_9 + N_{12} - N_{15} + N_{18} - N_{21}) \\
&\quad + (N_1 - N_2 - N_4 + N_5 + N_7 - N_8 - N_{10} + N_{11} + N_{13} - N_{14} - N_{16} + N_{17} \\
&\qquad + N_{19} - N_{20} - N_{22} + N_{23})\,Sin.30^\circ \\
12\,Q_4 &= (N_1 + N_2 - N_4 - N_5 + N_7 + N_8 - N_{10} - N_{11} + N_{13} + N_{14} - N_{16} - N_{17} \\
&\qquad + N_{19} + N_{20} - N_{22} - N_{23})\,Sin.60^\circ
\end{aligned}\right\}\quad (11)
$$

De berekening van Q en P volgens deze uitdrukkingen is, gelijk men ziet, zeer eenvoudig: zij bestaat hoofdzakelijk alleen in optellen en aftrekken en enkele kleine vermenigvuldigingen; want, wat deze betreft, moet opgemerkt worden, dat eene naauwkeurigheid tot 3 decimalen voldoende is. Wij schrijven hier dus nog:

$$
\begin{aligned}
Sin.\ 75^\circ &= 0{,}9659 = 1 + \tfrac{1}{38} - \tfrac{1}{22} \text{ nabij} \\
Sin.\ 60^\circ &= 0{,}8660 = 1 - \tfrac{1}{10} - \tfrac{1}{30} - \tfrac{1}{2000} \text{ nabij} \\
Sin.\ 45^\circ &= 0{,}7071 = 1 - \tfrac{1}{3} + \tfrac{1}{25} + \tfrac{1}{2500} \text{ nabij} \\
Sin.\ 30^\circ &= 0{,}5000 = \tfrac{1}{2} \\
Sin.\ 15^\circ &= 0{,}2588 = \tfrac{1}{4} + \tfrac{1}{113} = \tfrac{1}{4} + \tfrac{1}{4} \times \tfrac{1}{28} \text{ nabij.}
\end{aligned}
$$

Men kan of vermenigvuldigen, of volgens de bovenstaande breuken, waarvan de tellers = 1 zijn, alleen deelen. Ook zoude men van kleine logarithmentafels met 3 decimalen, gebruik kunnen maken. In elk geval is het doelmatig om voor de uitwerking der formulen (11) Tabellen te *doen drukken*, die slechts in te vullen zijn. Een voorbeeld van zulke eene Tabel is hier achter gevoegd.

Men heeft dan gevonden:

$$\left.\begin{aligned}
Q &= \textit{Gemidd.}\ M + k(a) + K(A),\\
P_1 &= k_1(x_1) + m_1(X_1) + n_1(Y_1),\\
Q_1 &= k_1(y_1) - n_1(X_1) + m_1(Y_1),\\
P_2 &= k_2(x_2) + m_2(X_2) - n_2(Y_2),\\
Q_2 &= k_2(y_2) + n_2(X_2) + m_2(Y_2),\\
P_3 &= k_3(x_3), \quad Q_3 = k_3(y_3),\\
P_4 &= k_4(x_4), \quad Q_4 = k_4(y_4).
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (12)$$

Om verder (x_1) en (y_1), (X_1), (Y_1) enz. te vinden, zal het doelmatig zijn, om een geheel jaar te omvatten, en dan de oplossing volgens de manier der kleinste kwadraten te bewerkstelligen. Vier maanden worden er ten minste gevorderd, telkens met overspringing van twee maanden, om eenige naauwkeurigheid te erlangen. Men kan kiezen: Junij en December, Maart en September.

De tot nu toe voorgedragene wijze van rekenen is de geschiktste ter bepaling van de termen die van de zon afhangen, omdat deze zoo min mogelijk verkleind in (12) voorkomen; terwijl daarentegen de termen, die tot de maan betrekking hebben, daarin slechts *gedeeltelijk* voorkomen, hetgeen meer bijzonder met de grootheden (X_2) en (Y_2) het geval is. Om de termen die de werking der maan voorstellen te bepalen, is het doelmatiger om de waargenomene hoogte in eene andere volgorde zamen te tellen, en wel, zoo als wij reeds noemden, in de volgorde van de *uurhoeken der maan*, beginnende met den tijd van maansdoorgang door den bovensten meridiaan, en eindigende met den uurhoek van 345°. — Het is blijkbaar, dat op deze wijze de grootheden (X_1), (Y_1), (X_2) enz. zoo veel mogelijk onverkleind in de sommen moeten voorkomen. Op deze wijze verkrijgt men elke maand *één* doorgang minder dan met de zon. Daar echter de uurwaarnemingen, die wij van de waterhoogten onderstellen, niet in de laatstgenoemde orde gedaan zijn, zullen wij eerst aanwijzen, hoe op eene eenvoudige manier hierin verholpen kan worden.

De tijden wanneer bepaalde maans-uurhoeken plaats hebben, vallen in den regel tusschen de zons-uren in, en vertragen dagelijks gemiddeld 50′,472. — Het komt er dus op aan, om voor elken bepaalden uurhoek der maan, de hoogte des waters uit de lijsten op te zoeken, door middel van interpolatie

tusschen twee opvolgende waarnemingen in, waarbij men dan *gemiddeld*, van den eenen dag op den anderen, telkens voor 50′½ later moet zoeken. — Het eerste getal, of de eerste waterhoogte worde gezocht voor het oogenblik van den doorgang der maan door den meridiaan, welk oogenblik in den Almanak opgeteekend staat. De tweede hoogte zoeke men, voor den tijd wanneer de maans-uurhoek 15° bedraagt, dat is gemiddeld 1ᵘ 2′,1 later dan den doorgangstijd; de derde hoogte als de genoemde uurhoek 30° beloopt, dat is zeer nabij 2ᵘ 4′,2 later dan den doorgangstijd enz. tot de 24ste waterhoogte toe, 23ᵘ 47′,9 gemiddeld na den tijd van doorgang der maan door den meridiaan. Naauwkeurig gesproken, kan men niet de gemiddelde vertraging 50′,7 der maans-doorgangen gebruiken, maar zoude steeds de werkelijke vertraging moeten bezigen, welke van 40 tot 60′ ongeveer verschillen kan. Het zoude echter te lastig worden en te veel tijd rooven, om dit voorschrift *streng* op te volgen. Wanneer men overweegt, dat de verandering in de hoogte des waters, gedurende weinige minuten, in den regel slechts zeer gering is, dan volgt vooreerst, dat men wel volstaan kan met voor de vertraging van den maansdoorgang steeds het gemiddelde getal van 50′,4 te nemen. Maar ten andere, ook dan wanneer men zich beperkt om de waterhoogte steeds te zoeken op het oogenblik van het *naaste kwartier uurs*, dat den juisten tijd *vooraf gaat* of *volgt*, dan nog zal de *gemiddelde* waterhoogte over *eenige dagen* voldoende, zoo niet bijna geheel naauwkeurig zijn. Waartoe dient opgemerkt te worden, dat voor *denzelfden* uurhoek der maan, het getij ook bijna steeds in dezelfde omstandigheid van rijzen of dalen verkeert: dit ten minste heeft plaats voor den voornaamsten term $A\ Sin.\ 2\ (P + B_1)$, als voor de overige termen die van P afhangen, wanneer men de *betrekkelijk zeer* langzame verandering van D, buiten rekening laat. Om dit nader door een voorbeeld op te helderen, zoo zij gesteld, dat de juiste tijden voor den uurhoek P = 75°, op 7 achtereenvolgende dagen vallen, ten

1 . .	5ᵘ 12′	en dat men de waterhoogten zoekt ten	5ᵘ 15′
2 . .	6 2	. . . .	6 0
3 . .	6 53	. . . .	7 0
4 . .	7 43	. . . .	7 45
5 . .	8 34	. . . .	8 30
6 . .	9 24	. . . .	9 30
7 . .	10 15	. . . .	10 15
Gemidd.	7ᵘ 43′	Gemidd.	7ᵘ 45′

Dan blijkt, dat de gemiddelde hoogte ten $7^u\ 45'$, in plaats van $7^u\ 45'$ gevonden is, hetgeen slechts een verschil van $2'$ oplevert. De rijzing of daling van het water in 2 minuten tijds kan wel verwaarloosd worden, te meer daar in andere gevallen, de gemiddeld gevondene hoogte iets te *vroeg* zijn zal. Het uitzoeken der waterhoogten uit lijsten die van uur tot uur ingevuld zijn, kan nu, met eenige oefening, genoegzaam even zoo spoedig gedaan worden, als of de waarnemingen van kwartier tot kwartier werkelijk gedaan waren, te meer daar vele tijden op het *volle uur*, als het naaste kwartier, invallen, andere weder op het *half uur:* men kan daarbij steeds de evenredige deelen uit het hoofd bijvoegen of aftrekken, en terstond de som of het verschil met het hoofdgetal nederschrijven.

Ten einde deze wijze van doen gemakkelijk te maken, gaat hierbij eene Tafel, waarin, voor elken doorgangstijd der maan, de naaste kwartieren aangewezen zijn, waarop de waterhoogte moet gezocht worden. De eerste kolom levert, als argument, den tijd van maans-doorgang, van 0 tot 12^u en verder tot 24^u toe, van 5 tot 5 minuten; voor dit oogenblik, dat uit den Almanak genomen wordt, zoekt men de eerste waterhoogte, voor $P = 0$. De 25 volgende kolommen wijzen vervolgens aan, de uren, halve uren en kwartier uren, waarop de volgende waterhoogten moeten gezocht worden. Bij voorbeeld, als de maansdoorgang geschiedt ten $9^u\ 55'$ des namiddags, waarbij het naaste getal in de eerste kolom $9^u\ 55'$ is. Dan zoekt men:

voor de maans-uurhoeken

0. 15°. 30°. 45°. 60°. 75°. 90°. 105°. 120°. 135°. 150°. 165°. 180°. 195°. 210°. 225° enz.,

de waterhoogten ten

10^u. 11^u. 12^u. | 1^u. 2^u. 3^u. $4\frac{1}{4}^u$. $5\frac{1}{4}^u$. $6\frac{1}{4}^u$. $7\frac{1}{4}^u$. $8\frac{1}{4}^u$. $9\frac{1}{4}^u$. $10\frac{1}{4}^u$. $11\frac{1}{4}^u$. $12\frac{1}{2}^u$. $1\frac{1}{2}^u$ enz.

Waarbij natuurlijk opgelet dient te worden, dat na 12^u 'snachts, 1^u van den *volgenden* datum *volgt*.

Hernemen wij thans de formule (5), en onderstellen wij dat die waterhoogten h bijeengeteld en gemiddeld worden, waarbij P *standvastig* blijft, dan komt:

$$\Sigma h = \Sigma M + \Sigma a + \Sigma A + \Sigma x_1 \, Sin\, p + \Sigma y_1 \, Cos.p + \Sigma x_2 \, Sin.\, 2p + \Sigma y_2 \, Cos.\, 2p + \text{enz.}$$
$$+ Sin.P\, \Sigma X_1 + Cos.P\, \Sigma Y_1 + Sin.\, 2p\, \Sigma X_2 + Cos.\, 2P\, \Sigma Y_2 + \text{enz.}$$

of

$$
\left.\begin{aligned}
\Sigma h = \Sigma M &+ (a)\Sigma\,(3\,Cos.2\,D - 1)\,\delta^3 + (A)\,\Sigma\,(3\,Cos.2\,D' - 1)\,\Delta^3 \\
&+ (x_1)\,\Sigma\,\delta^3\,Sin.2\,D\,.\,Sin.p + (y_1)\,\Sigma\,\delta^3\,Sin.2\,D\,Cos.p \\
&+ (x_2)\,\Sigma\,\delta^3\,Cos.^2\,D\,Sin.2p + (y_2)\,\Sigma\,\delta^3\,Cos.^2\,D\,Cos.2p \\
&+ (x_3)\,\Sigma\,\delta^3\,Sin.3p + (y_3)\,\Sigma\,\delta^3\,Cos.3p + (x_4)\,\Sigma\,\delta^3\,Sin.4p + (y_4)\,\Sigma\,\delta^3\,Cos.4p \\
&+ (X_1)\,Sin.P\,\Sigma\,\Delta^3\,Sin.2\,D' + (Y_1)\,Cos.P\,\Sigma\,\Delta^3\,Sin.2\,D' \\
&+ (X_2)\,Sin.2P\,\Sigma\,\Delta^3\,Cos.^2\,D' + (Y_2)\,Cos.2P\,\Sigma\,\Delta^3\,Cos.^2\,D' \\
&+ (X_3)\,Sin.3P\,\Sigma\,\Delta^3 + (Y_3)\,Cos.3P\,\Sigma\,\Delta^3 \\
&+ (X_4)\,Sin.4P\,\Sigma\,\Delta^3 + (Y_4)\,Cos.4P\,\Sigma\,\Delta^3
\end{aligned}\right\} \quad (13)
$$

Deze uitdrukking vervangt nu de uitdrukking (7): wij willen ook deze nader beschouwen.

Vooreerst onderstellen wij, dat de som der waterhoogten niet voor eene maand in eens, maar slechts voor het *vierde* van eenen maansomloop telkens genomen worde, en dus, daar er zeer nabij in twee maansomloopen — gerekend van nieuwe tot nieuwe maan — 57 maansdoorgangen door den meridiaan plaats vinden, dat men 7 *malen achtereen* 7 waterhoogten optelle, en dan *éénmaal* 8 waterhoogten. De reden van dit voorstel is, om zoo doende, in het algemeen, de grootst mogelijke getallen-waarden voor de coefficiënten van X_1, Y_1, X_2, Y_2 enz. te bekomen, en wel meer bepaald van X_1 en Y_1. Wanneer alzoo Σh alleen voor 7 of hoogstens 8 dagen geldt, dan is het vooreerst duidelijk, dat men voor de zonstermen, de *gemiddelde* waarde van D en δ zal mogen bezigen, en de functie dezer grootheden, buiten het sommatie-teeken zal mogen schrijven. De termen die van de zon afhangen, verkrijgen dus den volgenden vorm:

$$
\begin{aligned}
&(a)\,.\,\underline{\delta^3}\,(3\,\underline{Cos.2\,D} - 1)\,\Sigma\,1 \\
&+ \underline{\delta^3}\;\underline{Sin.2\,D}\;\{(x_1)\,\Sigma\,Sin.p + (y_1)\,\Sigma\,Cos.p\} \\
&+ \underline{\delta^3}\;\underline{Cos.^2\,D}\;\{(x_2)\,\Sigma\,Sin.2p + (y_2)\,\Sigma\,Cos.2p\} \\
&+ \underline{\delta^3}\quad\times\quad\{(x_3)\,\Sigma\,Sin.3p + (y_3)\,\Sigma\,Cos.3p\} \\
&+ \underline{\delta^3}\quad\times\quad\{(x_4)\,\Sigma\,Sin.4p + (y_4)\,\Sigma\,Cos.4p\}\,.
\end{aligned}
$$

De verandering van p in het tijdsverloop tusschen twee maansdoorgangen, bedraagt gemiddeld 12°,618. Dientengevolge heeft men, zoo weder $\underline{p}$ de gemiddelde uurhoek der zon voorstelt:

$$\tfrac{1}{7}\,\Sigma_1^7\,\frac{Sin.}{Cos.}(n\,p) = \frac{Sin.}{Cos.}(n\underline{p}) \cdot \frac{Sin.(n \times 44^\circ,163)}{7 \times Sin.\,6^\circ,309} = \mu_n \cdot \frac{Sin.}{Cos.}(n\underline{p})$$

$$\tfrac{1}{8}\,\Sigma_1^3\,\frac{Sin.}{Cos.}(n\,p) = \frac{Sin.}{Cos.}(n\underline{p}) \cdot \frac{Sin.(n \times 50^\circ,472)}{8 \times Sin.\,6^\circ.309} = \mu_n \cdot \frac{Sin.}{Cos.}(n\underline{p}).$$

Door achtervolgens $n = 1, 2, 3, 4$ te stellen, vindt men de coëfficienten:

1°. voor 7 dagen . . . $\mu_1 = 0{,}906$, $\mu_2 = 0{,}653$, $\mu_3 = 0{,}318$, $\mu_4 = 0{,}020$

2°. voor 8 dagen . . . $\mu_1 = 0{,}877$, $\mu_2 = 0{,}562$, $\mu_3 = 0{,}184$, $\mu_4 = 0{,}109$.

De gemiddelde waarde der termen die van de zon afhangen, en die overeenstemmen met, of behooren bij den uurhoek P der maan, wordt alzoo:

$$\begin{aligned}
&(a)\ \underline{\delta}^3\ (3\,Cos.\,\underline{2\,D} - 1) \\
&+ \mu_1\ \underline{\delta}^3\ Sin.\,\underline{2\,D}\,.\,\{(x_1)\,Sin.\underline{p} + (y_1)\,Cos.\underline{p}\ \} \\
&+ \mu_2\ \underline{\delta}^3\ Cos.\,{}^2\,\underline{D}\,.\,\{(x_2)\,Sin.\,2\underline{p} + (y_2)\,Cos.\,2\underline{p}\} \\
&\qquad + \mu_3\,\underline{\delta}^3\ \{(x_3)\,Sin.\,3\underline{p} + (y_3)\,Cos.\,3\underline{p}\} \\
&\qquad + \mu_4\,\underline{\delta}^4\ \{(x_4)\,Sin.\,4\underline{p} + (y_4)\,Cos.\,4\underline{p}\}.
\end{aligned}$$

Laat op den gemiddelden dag, op het oogenblik van den doorgang van de maan door het zuiden, dat is voor het tijdstip van $P = o$, $\underline{p} = \beta'$ zijn, en zij $\lambda = \frac{12^\circ,618}{360'} \times P$, dan is op het oogenblik van elken anderen uurhoek der maan P,

$$\underline{p} = \beta + P + \lambda.$$

Wanneer men dan, zonder verdere herleiding der bovenstaande termen voor de zon, terstond de manier van eliminatie, hierboven pag. 18 aangewezen, op (15) toepast, dan zullen in elke waarde van P en Q, volgens de formulen (*a*), (*b*) en (*c*) gevonden, ook de grootheden (x_1), (y_1), (x_2) enz. voor een gedeelte voorkomen, welke zich bij de termen der maan, (X_1) enz. voegen. Laat k en k' twee geheele getallen zijn, en laat de uitdrukking (15) vermenigvuldigd worden met $Sin.\ k'P$ of met $Cos.\ k'P$, dan zullen in het product met de termen der zon de vier vormen voorkomen, te weten:

$$Sin.\,k\underline{p}\ \ Sin.\,k'P\ ,\quad Cos.\,k\underline{p}\ \ Sin.\,k'P$$
$$Sin.\,k\underline{p}\ \ Cos.\,k'P\ ,\quad Cos.\,k\underline{p}\ \ Cos.\,k'P.$$

De vraag is naar de som van de 24 waarden van ieder dezer producten,

overeenkomende met verschillende uurhoeken P, van 0 tot 345°. Hiertoe hebben wij vooreerst:

$$2\,Sin.\,k\underline{p}.\ Sin.k'\mathrm{P} = Cos.(k\underline{p} - k'\mathrm{P}) - Cos.(kp + k'\mathrm{P}),$$

$$2\,Cos.\,k\underline{p}.\ Cos.k'\mathrm{P} = Cos.\,(k\underline{p} - k'\mathrm{P}) + Cos.(kp + k'\mathrm{P});$$

of

$$2\,Sin.k\underline{p}.\ Sin.k'\mathrm{P} = Cos.\,(\overline{k-k'}\mathrm{P} + k\beta + k\lambda) - Cos.\,(\overline{k+k'}\mathrm{P} + k\beta + k\lambda),$$

$$2\,Cos.k\underline{p}.\ Cos.k'\mathrm{P} = Cos.\,(\overline{k-k'}\mathrm{P} + k\beta + k\lambda) + Cos.\,(\overline{k+k'}\mathrm{P} + k\beta + k\lambda).$$

Wanneer men in deze uitdrukkingen den standvastigen boog $k\beta$ met 90° vermeerdert, verkrijgt men de waarden van $2\,Cos.\,k\underline{p}.\,Sin.\,k'\mathrm{P}$ en $2\,Sin.\,k\underline{p}.\,Cos.k'\mathrm{P}$.

De eerste waarde van P is $= o$, te gelijk met $\lambda = o$.

De laatste waarde van P is $= 345°$, te gelijk met $\lambda = \frac{23}{24} \times 12°,618$.

Zij, ter bekorting, $\delta = \frac{23}{24} \times 6°,309$, dan vindt men voor het gemiddelde der bogen, waarvan de *Cosinussen* opgeteld zullen worden:

$$k\beta + (k-k')\ (180° - 7°,5) + k\delta \quad \text{en} \quad k\beta + (k+k')\ (180° - 7°,5) + k\delta$$

en voor de *helft* van de *vermeerdering* dier bogen, telkens:

$$(k-k') \times 7°,5 + \tfrac{1}{23}\,k\delta \quad \text{en} \quad (k+k') \times 7°,5 + \tfrac{1}{23}\,k\delta.$$

Hieruit volgt voor de gevraagde som der *Cosinussen:*

$$Cos.\,\big(k\beta - (k-k').\ 7°,5 + k\delta\big) \times \frac{Sin.\,(k \times 6°,309)}{Sin.\,\big((k-k')\ .\ 7°,5 + \frac{1}{23}\,k\delta\big)},$$

en

$$Cos.\,\big(k\beta - (k+k').\ 7°,5 + k\delta\big) \times \frac{Sin.\,(k \times 6°,309)}{Sin.\,\big((k+k')\ .\ 7°,5 + \frac{1}{23}\,k\delta\big)};$$

of voor δ zijne waarde schrijvende, en herleidende:

$$Cos.\,\big(k\,(\beta - 1°,454) + k' \times 7°,5\big)\ .\ \frac{Sin.\,(k \times 6°,309)}{Sin.\,\big(k\,.\,7°,763 - k'\,.\,7°,5\big)},$$

en

$$Cos.\,\big(k\,(\beta - 1°,454) - k' \times 7°,5\big)\ .\ \frac{Sin.\,(k \times 6°,309)}{Sin.\,\big(k\,.\,7°,763 + k'\,.\,7°,5\big)}.$$

Door van deze uitdrukkingen het halve verschil en de halve som te nemen, en verder te herleiden, vindt men: 1°.

$$\Sigma_0^{23}\, Sin.k\underline{p}\, Sin.k'P = Sin.(k\times 6°,309).\frac{Sin.(k'\times 15°)}{Cos.(k'\times 15°)-Cos.(k\times 15°,526)}\, Cos.k(\beta + 6°,309),$$

waaruit:

$$\Sigma_0^{23}\, Cos.k\underline{p} Sin.k'P = -Sin.(k\times 6°,309).\frac{Sin.(k'\times 15°)}{Cos.(k'\times 15°)-Cos.(k\times 15°,526)}\, Sin.k(\beta + 6°,309).$$

2°. Wanneer men stelt: (d)

$$Tang.\,\alpha = Tang.^2 (k'\times 7°,5)\,.\,Cot.\,7°,763,$$

$$\Sigma_0^{23}\, Cos.k\underline{p} Cos.k'P = Sin.(k\times 6°,309).Sin.(k\times 7°,763)\frac{(1+Cos.k'\times 15°)\,Sec.\,\alpha}{Cos.(k'\times 15°)-Cos.(k\times 15°,526)}\, Cos.\big(k(\beta-1°,454)+\alpha\big),$$

waaruit:

$$\Sigma_0^{23}\, Sin.k\underline{p} Cos.k'P = -Sin.(k\times 6°,309).Sin.(k\times 7°,763)\frac{(1+Cos.k'\times 15°)\,Sec.\,\alpha}{Cos.(k'\times 15°)-Cos.(k\times 15°,526)}\, Sin.\big(k(\beta-1°,454)+\alpha\big).$$

Wanneer men in deze beide laatste uitdrukkingen $k' = o$ stelt, komt nog:

$$\Sigma_0^{23}\, Cos.k\underline{p} = Sin.(k\times 6°,309).\ Sin.(k\times 7°,763)\times\frac{2}{1-Cos.(k\times 15°,526)}\, Cos.k\,(\beta - 1°,454)$$

$$= \frac{Sin.(k\times 6°,309)}{Sin.(k\times 7°,753)}\times Sin.k\,(\beta - 1°,454) \qquad (e)$$

$$\Sigma_0^{23}\ Sin.k\underline{p} = -\frac{Sin.(k\times 6°,309)}{Sin.(k\times 7°,763)}\ Cos.k\,(\beta - 1°,454).$$

Het is duidelijk te zien dat de bovenstaande uitdrukkingen dan hare voornaamste waarde verkrijgen, wanneer $k = k'$ is, terwijl in de overige gevallen die waarden veel kleiner zijn. — Nemen wij achtervolgende: $k = k' = 1$, $= 2$, $= 3$, $= 4$, dan komt:

$\Sigma_0^{23} Sin.\ \underline{p}\ Sin.\ P = 11{,}772\ Cos.\ (\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Cos.\ \underline{p}\ Cos.\ P = 12{,}174\ Cos.\ (\beta+5°,8)$

$\Sigma_0^{23} Cos.\ \underline{p}\ Sin.\ P = -11{,}772\ Sin.\ (\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Sin.\ \underline{p}\ Cos.\ P = -12{,}174\ Sin.\ (\beta+5°,8)$

$\Sigma_0^{23} Sin\,2\underline{p}\ Sin.2P = 11{,}712\ Cos.2(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Cos.2\underline{p} Cos.2P = 12{,}084\ Cos.2(\beta+5°,8)$

$\Sigma_0^{23} Cos.2\underline{p}\ Sin.2P = -11{,}712\ Sin.2(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Sin.2\underline{p} Cos.2P = -12{,}084\ Sin.2(\beta+5°,8)$

$\Sigma_0^{23} Sin.3\underline{p}\, Sin.3P = 11,618\, Cos.3(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Cos.3\underline{p}\, Cos.3P = 11,938\, Cos.3(\beta+5°,8)$

$\Sigma_0^{23} Cos.3\underline{p}\, Sin.3P = -11,618\, Sin.3(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Sin.3\underline{p}\, Cos.3P = -11,938\, Sin.3(\beta+5°,8)$

$\Sigma_0^{23} Sin.4\underline{p}\, Sin.4P = 11,490\, Cos.4(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Cos.4\underline{p}\, Cos.4P = 11,734\, Cos.4(\beta+5°,8)$

$\Sigma_0^{23} Cos.4\underline{p}\, Sin.4P = -11,490\, Sin.4(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Sin.4\underline{p}\, Cos.4P = -11,734\, Sin.4(\beta+5°,8)$

Van de overige combinatiën nemen wij nog slechts $k = 1$ met $k' = 2$ en $k = 2$ met $k' = 1$, welke tot de voornaamste termen van (15) betrekking hebben, omdat de overige sommen, uit hoofde der geringe grootte van x_3, y_3, x_4, y_4 vermenigvuldigd met de coëfficienten μ_3 en μ_4 en gedeeld door 12, verwaarloosd kunnen worden, althans tot dat het tegendeel zoude blijken.

$\Sigma_0^{23} Sin.\underline{p}\, Sin.2P = -0,564\, Cos.(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Cos.\underline{p}\, Cos.2P = -0,321\, Cos.(\beta+26°,3)$

$\Sigma_0^{23} Cos.\underline{p}\, Sin.2P = +0,564\, Sin.(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Sin.\underline{p}\, Cos.2P = +0,321\, Sin.(\beta+26°,3)$

$\Sigma_0^{23} Sin.2\underline{p}\, Sin.P = +0,535\, Cos.2(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Cos.2\underline{p}\, Cos.P = 1,055\, Cos.2(\beta+0°,3)$

$\Sigma_0^{23} Cos.2\underline{p}\, Sin.P = -0,535\, Sin.2(\beta+6°,3)$, $\Sigma_0^{23} Sin.2\underline{p}\, Cos.P = -1,055\, Sin.2(\beta+0°,3)$

Eindelijk komt nog volgens (e)

$$\Sigma_0^{23} Sin.k\underline{p} = -\ 0,813\ Sin.k(\beta - 1°,45)$$

$$\Sigma_0^{23} Cos.k\underline{p} = +\ 0,813\ Cos.k(\beta - 1°,45)$$

In plaats van de bogen $\beta + 6°,3$ of $\beta + 5°,8$ zal het voldoende zijn, gemakshalve, in een rond getal, beide op $\beta + 6°$ te stellen; hetgeen tot bevestiging dient van hetgeen hiervoren (pag. 17, *boven*) is aangevoerd.

De termen die van de maan afhangen in (15) zullen wij niet herleiden, maar aannemen dat de gemiddelde waarden, voor 7 of 8 dagen, van

$\Sigma\ (3\,Cos.\,2\,D' - 1)\,\Delta^3$, $\Sigma\,\Delta^3\,Sin.\,2\,D'$ en van $\Sigma\,\Delta^3\,Cos.^2\,D' = \frac{1}{2}\ \Sigma\,(Cos.\,2\,D' + 1)\,\Delta^3$

regtstreeks berekend worden.

Wij bekomen dus, door de waarde van Σh in (15) te deelen door 7 of 8, naar gelang men 7 of 8 maansdagen *middelt*, indien n dit getal voorstelt, verwaarloozende $\mu_4\ (x_4)$ en $\mu_4\ (y_4)$:

$$
\begin{aligned}
N_i = \tfrac{1}{n}\Sigma M &+ (a)\,\underline{\delta}^3\ (3\,Cos.\,2\,\underline{D} - 1) + (A).\ \frac{\Sigma\,(3\,Cos.\,2\,D' - 1)\ \Delta^3}{n} \\
&+ \mu_1\ \underline{\delta}^3\ Sin.\,2\,\underline{D}\ \{(x_1)\,Sin.\ \underline{p} + (y_1)\ Cos.\ \underline{p}\} \\
&+ \mu_2\ \underline{\delta}^3\ Cos.^2\,\underline{D}\ \{(x_2)\,Sin.\,2\underline{p} + (y_2)\ Cos.2\underline{p}\} \\
&+ \qquad \mu_3\ \underline{\delta}^3\ \{(x_3)\,Sin.\,3\underline{p} + (y_3)\ Cos.3\underline{p}\} \\
&+ \frac{\Sigma\,\Delta^3\,Sin.\ 2\,D'}{n}\ \{(X_1)\,Sin.\ P + (Y_1)\,Cos.\ P\} \qquad (14) \\
&+ \frac{\Sigma\,\Delta^3\,Cos.^2\,D'}{n}\ \{(X_2)\,Sin.\,2\,P + (Y_2)\,Cos.2\,P\} \\
&+ \qquad \frac{\Sigma\,\Delta^3}{n}\ .\ \{(X_3)\,Sin.\,3\,P + (Y_3)\,Cos.3\,P\} \\
&+ \qquad \frac{\Sigma\,\Delta^3}{n}\ .\ \{(X_4)\,Sin.\,4\,P + (Y_4)\,Cos.4\,P\}
\end{aligned}
$$

En zoo wij verder, volgens de uitdrukkingen (*a*) (*b*) en (*c*) pag. 18, elke der 24 waarden van N_i vermenigvuldigen met *Sin.* k'P, of *Cos.* k'P, de som nemen en door 12 deelen, dan zullen wij eindelijk vinden, stellende:

$$r_1 = \frac{11,772}{12}\,\mu_1 = 0,981\ \mu_1 \qquad t_1 = \frac{0,535}{12}\,\mu_2 = 0,045\ \mu_2$$

$$s_1 = \frac{12,174}{12}\,\mu_1 = 1,015\ \mu_1 \qquad u_1 = \frac{1,055}{12}\,\mu_2 = 0,088\ \mu_2$$

$r_2 = \frac{11,712}{12}\mu_2 = 0,976\ \mu_2$ $\qquad t_2 = \frac{0,564}{12}\mu_1 = 0,047\ \mu_1$

$s_2 = \frac{12,084}{12}\mu_2 = 1,007\ \mu_2$ $\qquad u_2 = \frac{0,321}{12}\mu_1 = 0,027\ \mu_1$

$r_3 = \frac{11,490}{12}\mu_3 = 0,968\ \mu_3$ $\qquad s = \frac{0,813}{24}\mu_1 = 0,035\ \mu_1$

$s_3 = \frac{11,938}{12}\mu_3 = 0,995\ \mu_3$ $\qquad u = \frac{0,813}{24}\mu_2 = 0,035\ \mu_2$

Voorts:

$\underline{\delta^3}\ (3\,Cos.\,\underline{2\,D} - 1) = l\ ,\qquad \frac{1}{n}\Sigma\ (3\,Cos.\,2\,D' - 1)\,\Delta^3 = L$

$\underline{\delta^3}\ Sin.\,\underline{2\,D} = v\ ,\qquad \frac{1}{n}\Sigma\ \Delta^3\,Sin.\,2\,D' = V$

$\underline{\delta^3}\ Cos.^2\,\underline{D} = w\ ,\qquad \frac{1}{n}\Sigma\ \Delta^3\,Cos.^2\,D' = W$

$\underline{\delta^3} = f\ ,\qquad \frac{1}{n}\Sigma\ \Delta^3 = F$

$$\beta' = \beta + 6^\circ$$

$$Q = Gemidd.\ M + l\,(a) + L\,(A) - s\,v\left\{(x_1)\,Sin.\ (\beta - 7^\circ\tfrac{1}{2}) - (y_1)\,Cos.\ (\beta' - 7^\circ\tfrac{1}{2})\right\}$$
$$- u\,w\left\{(x_2)\,Sin.\,2\,(\beta - 7^\circ\tfrac{1}{2}) - (y_2)\,Cos.\,2(\beta' - 7^\circ\tfrac{1}{2})\right\}$$

$$P_1 = V\,(X_1) + r_1\,v\{(x_1)Cos.\ \beta' - (y_1)Sin.\ \beta'\} + t_1\ w\{(x_2)\,Cos.2\beta' - (y_2)\,Sin.2\beta'\}$$

$$Q_1 = V\,(Y_1) - s_1\,v\{(x_1)Sin.\ \beta' - (y_1)Cos.\ \beta'\} - u_1 w\{(x_2)Sin.2(\beta' - 6^\circ) - (y_2)Cos.2(\beta' - 6^\circ)\} \quad (15)$$

$$P_2 = W(X_2) + r_2 w\{(x_2)Cos.2\beta' - (y_2)Sin.2\beta'\} - t_2\ v\ \{(x_1)Cos.\beta' - (y_1)Sin.\beta'\}$$

$$Q_2 = W(Y_2) - s_2 w\{(x_2)Sin.2\beta' - (y_2)Cos.\,2\beta'\} + u_2 v\{(x_1)Sin.(\beta' + 20^\circ) - (y_1)Cos.(\beta' + 20^\circ)\}$$

$$P_3 = F(X_3) + r_3 f\{(x_3)Cos.3\beta' - (y_3)Sin.3\beta'\} \qquad P_4 = F\,(X_4)$$

$$Q_3 = F\,(Y_3) - s_3 f\{(x_3)Sin.3\beta' - (y_3)Cos.3\beta'\} \qquad Q_4 = F\,(Y_4).$$

De getallen r_1, s_1, t_1, enz. zijn de volgende:

1°. Bij gemiddelden van 7 maansdagen:

$s = 0,032$

$u = 0,023$

$r_1 = 0,889\ ..\ t_1 = 0,029 \qquad r_2 = 0,637\ ..\ t_2 = 0,043 \qquad r_3 = 0,307$

$s_1 = 0,920\ ..\ u_1 = 0,057 \qquad s_2 = 0,657\ ..\ u_2 = 0,024 \qquad s_3 = 0,316.$

2°: Bij gemiddelden van 8 maansdagen:

$$s = 0{,}031$$

$$u = 0{,}020$$

$r_1 = 0{,}860 \ldots t_1 = 0{,}025$ $r_2 = 0{,}548 \ldots t_2 = 0{,}041$ $r_3 = 0{,}081$

$s_1 = 0{,}890 \ldots u_1 = 0{,}049$ $s_2 = 0{,}566 \ldots u_2 = 0{,}024$ $s_3 = 0{,}183.$

Herinnerd zij, dat β' de uurhoek der zon is, op den middelsten dag van het tijdvak, op het oogenblik van den doorgang der maan door den meridiaan, steeds *na den middag* gerekend. Alzoo, bij een midden uit 7 dagen:

$$\beta' = 15 \times \text{Tijd van maans-doorgang op den } 4^{\text{den}} \text{ dag} + 6^\circ,$$

en bij een midden uit 8 dagen:

$$\beta' = 15 \times \frac{\text{doorgangstijd } 4^{\text{den}} + \text{doorgangstijd } 5^{\text{den}} \text{ dag}}{2} + 6^\circ.$$

Beter echter is het om een *midden* uit *al* de 7 of 8 doorgangstijden te nemen. Men ziet uit de gevonden uitdrukkingen (15) weder even als uit (12) dat de zons- en maansgetijden zich, met eenige naauwkeurigheid, *niet* laten afzonderen, zonder een vol jaar minstens te omvatten. De gedeelten van het getij der zon die in Q voorkomen zijn echter zeer gering, en verdwijnen genoegzaam geheel, wanneer men een midden uit 4 achtervolgende zeventallen neemt.

De berekening van de gemiddelde waterhoogte, en van de verschillende getij-golven splitst zich dus naar aanleiding van het voorgaande, natuurlijk in drie gedeelten, te weten:

a) Het opmaken der gemiddelde waterhoogten telkens gedurende het ¼ van eenen synodischen maansomloop, en voor 24 maans-uurhoeken afzonderlijk; of het opmaken der gemiddelde waterhoogten telkens gedurende eene maand van 30 of 31 dagen, en voor 24 zons-uurhoeken afzonderlijk. Daarna in het uitrekenen der getallen Q, P_1, Q_1 enz. volgens de uitdrukkingen (11).

b) Het berekenen der getallen-coëfficienten, afhangende van de declinatiën van de zon en de maan, van 7 tot 7 dagen, voor elk der maans-kwartieren; waarbij het doelmatig is, als overeenstemmende declinatiën te nemen, die

welke 2 dagen of 48 uren *vroeger* plaats hadden, dan de tijden der waargenomene waterhoogten; doch met bijvoeging van de *verschillen* der coëfficienten, indien de declinatiën nog eenen dag vroeger, of eenen dag later waren opgezocht. Indien de waterhoogten gedurende 30 of 31 dagen, in de rangorde der uren van de zon gerangschikt zijn, moeten de coëfficienten berekend worden volgens (10).

c) Wanneer deze berekeningen voor het tijdsverloop van één vol jaar volbragt zijn, kunnen door eene geschikte combinatie, of best volgens de manier der kleinste kwadraten, de waarden van X_1, Y_1, X_2 enz. voor de maan, en van x_1, y_1 enz. voor de zon bepaald worden. Het zamentellen der waterhoogten in rangorde van de uurhoeken der maan, is van meer belang, dan het zamentellen in rangorde van de uurhoeken der zon. Doelmatigst is het om beide manieren tevens te volgen. Waarschijnlijk zal men echter kunnen volstaan met ter bepaling der zons-coëfficienten 4 maanden slechts te berekenen: Junij, December, Maart en September.

Het gedeelte *a*) kan ligtelijk aan meerdere rekenaars toevertrouwd worden, die met de noodige aanwijzingen, het gemakkelijk zullen kunnen volbrengen. Voor het gedeelte *b*) wordt eenige meerdere ontwikkeling in den rekenaar gevorderd, althans de kennis van het gebruik der Sinus- en Logarithmentafelen. Het gedeelte *c*) kan alleen door deskundigen gedaan worden.

Het gedeelte *a*) kan onmiddellijk toegepast worden, overal waar van uur tot uur de waterhoogten worden opgeteekend; bepaaldelijk zoude dit te Amsterdam, aan het Stads Waterkantoor kunnen geschieden, maar ook aan den Helder en elders. Het is *zeker*, dat door de waterhoogten bij een te voegen zoo als hier is voorgesteld, in weinig tijds de kennis van den loop der getijden op onze kusten, aanmerkelijk zoude bevorderd worden.

Wij zullen de wijze van het zamentellen der waterhoogten, het middelen en de verdere berekening in *a*) bedoeld, nu nog door een voorbeeld ophelderen, en kiezen daartoe de in de maand April 1851 aan het Waterkantoor te Amsterdam gedane opteekeningen der waterhoogten. De wijze van opteekenen en rangschikken, zoo wel eerst volgens de uren des daags, of uurhoeken van de zon, en daarna volgens de uurhoeken der maan, en verder de wijze van berekening der grootheden Q, P_1, Q_1 enz. is op drie Tabellen uitvoerig aangewezen en behoeft geene verdere opheldering. Wij deelen hier nog slechts mede de uitkomsten, die wij gevonden hebben door van den 31sten Maart tot den 5den Mei 1851, de waterhoogten volgens de maans-uurhoeken, in 5 ze-

ventallen van maansdagen, te rangschikken en telkens de getallen Q, P_1, Q_1 enz. te berekenen.

GEMIDD. DATUM.	β	Q	P_1	Q_1	P_2	Q_2	P_3	Q_3	P_4	Q_4
1831.										
3 April	22°,2	+ 4,17	—0,151	—0,720	+ 8,608	+13,451	+0,248	+0,121	—0,208	—0,087
10 〃	113,5	—12,87	+3,099	+0,535	+ 9,660	+ 9,358	+0,412	—0,321	—0,116	—0,317
17 〃	209,0	— 5,64	+0,952	—1,411	+ 8,963	+10,584	+0,037	—0,762	—0,346	—0,743
24 〃	296,5	+ 1,92	—2,789	—1,693	+10,084	+10,719	+0,501	+0,062	—0,433	+0,274
2 Mei	16,2	— 1,97	+0,059	—1,625	+ 6,365	+11,865	—1,851	—0,472	—1,187	—0,830

Gerangschikt volgens zons-uurhoeken.

1 tot 30 April		— 5,39	—2,053	+0,144	— 1,705	+ 3,404	—0,152	+0,363	+0,015	+0,141

Men ziet dat van alle uitkomsten, die omtrent Q of de gemiddelde waterhoogte, de meeste veranderingen plaats hebben; hetgeen buiten twijfel een gevolg van den invloed van den wind op den stand des waters is. Het is dus noodzakelijk, dat de verschillende getallen Q zoodanig gecombineerd worden, dat met de meeste waarschijnlijkheid, het gezochte *midden* bevrijd zij van den invloed van den wind. De opteekening van de dagelijks gemiddeld geheerscht hebbende winden is dus van veel belang. Hieromtrent merken wij nog op, dat het doelmatig zijn zal, om den wind *niet volgens streken of graden,* maar door *twee getallen,* voorstellende de *componenten, naar het Noorden,* en *naar het Oosten,* op de Tabellen der waterhoogten aan te wijzen, en daarbij tevens zoo veel mogelijk ook de windkracht te voegen.

TAFEL

VAN DE

BETREKKELIJKE WERKING DER *MAAN*

OP DE WATERGETIJDEN,

BIJ VERSCHILLENDE AFSTANDEN TOT DE AARDE,

OF WAARDE VAN Δ^3.

PARALLAXIS. ′ ″	½ MIDD. ′ ″	Δ^3	Versch.
53	14 28	0,804 = 1 — 0,196	15
53 20	14 33	0,819 = 1 — 0,181	16
53 40	14 39	0,835 = 1 — 0,165	15
54	14 44	0,850 = 1 — 0,150	16
54 20	14 50	0,866 = 1 — 0,134	16
54 40	14 55	0,882 = 1 — 0,118	16
55	15 1	0,898 = 1 — 0,102	17
55 20	15 6	0,915 = 1 — 0,085	16
55 40	15 12	0,931 = 1 — 0,069	17
56 0	15 17	0,948 = 1 — 0,052	17
56 20	15 23	0,965 = 1 — 0,035	18
56 40	15 28	0,983 = 1 — 0,017	17
57	15 33	1,000 = 1	18
57 20	15 39	1,018 = 1 + 0,018	18
57 40	15 44	1,036 = 1 + 0,036	18
58	15 50	1,054 = 1 + 0,054	18
58 20	15 55	1,072 = 1 + 0,072	18
58 40	16 1	1,090 = 1 + 0,090	19
59 0	16 6	1,109 = 1 + 0,109	19
59 20	16 12	1,128 = 1 + 0,128	19
59 40	16 17	1,147 = 1 + 0,147	19
60	16 23	1,166 = 1 + 0,166	20
60 20	16 28	1,186 = 1 + 0,186	20
60 40	16 33	1,206 = 1 + 0,206	20
61	16 39	1,226 = 1 + 0,226	20
61 20	16 44	1,246 = 1 + 0,246	20
61 40	16 50	1,266 = 1 + 0,266	21
62	16 55	1,287 = 1 + 0,287	

TAFEL

VAN DE

BETREKKELIJKE WERKING DER *ZON*

OP DE WATERGETIJDEN,

IN DE VERSCHILLENDE MAANDEN DES JAARS,

OF WAARDE VAN δ^3.

DATUM.	δ^3	Versch.	DATUM.
1 Januarij	1 + 0,052	— 1	1 Januarij
11 〃	1 + 0,051	2	22 〃
21 〃	1 + 0,049	4	12 〃
1 Februarij	1 + 0,045	6	2 Decemb.
11 〃	1 + 0,039	6	22 〃
21 〃	1 + 0,033	8	12 〃
3 Maart	1 + 0,025	8	1 Novemb.
13 〃	1 + 0,017	9	22 〃
23 〃	1 + 0,008	9	12 〃
2 April	1 — 0,001	9	2 October
12 〃	1 — 0,010	8	22 〃
23 〃	1 — 0,018	7	12 〃
3 Mei	1 — 0,025	7	2 Septemb.
13 〃	1 — 0,032	6	22 〃
23 〃	1 — 0,038	5	12 〃
2 Junij	1 — 0,043	3	2 Augustus
12 〃	1 — 0,046	2	23 〃
22 〃	1 — 0,048	— 1	13 〃
3 Julij	1 — 0,049		3 Julij

TAFEL,

VOOR HET RANGSCHIKKEN DER WATERHOOGTEN, VOLGENS DE UURHOEKEN DER MAAN.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
0ᵘ = 12	0′	1	2	3	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾
	5	1	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	12
	10	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	10	11	12
	15	1¼	2¼	3¼	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	7	8	9	10	11	12
	20	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	5	6	7	8	9	10	11	12¼
	25	1½	2½	3½	4½	5½	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	3	4	5	6	7	8	9	10¼	11¼	12¼
	30	1½	2½	3½	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	1	2	3	4	5	6	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼
	35	1½	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	10	11	12	1	2	3	4	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12½
	40	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	7	8	9	10	11	12	1	2	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10½	11½	12½
	45	1¾	2¾	3¾	5	6	7	8	9	10	11	12	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7½	8½	9½	10½	11½	12½
	50	1¾	3	4	5	6	7	8	9	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12¾
	55	2	3	4	5	6	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10¾	11¾	12¾
1ᵘ = 13	0	2	3	4	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾
	5	2	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	1
	10	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	11	12	1
	15	2¼	3¼	4¼	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	8	9	10	11	12	1
	20	2¼	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	6	7	8	9	10	11	12	1¼
	25	2½	3½	4½	5½	6½	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	4	5	6	7	8	9	10	11¼	12¼	1¼
	30	2½	3½	4½	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	2	3	4	5	6	7	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼
	35	2½	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	11	12	1	2	3	4	5	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1½
	40	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	8	9	10	11	12	1	2	3	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11½	12½	1½
	45	2¾	3¾	4¾	6	7	8	9	10	11	12	1	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8½	9½	10½	11½	12½	1½
	50	2¾	4	5	6	7	8	9	10	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1¾
	55	3	4	5	6	7	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11¾	12¾	1¾
2ᵘ = 14	0	3	4	5	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾
	5	3	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	2
	10	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	12	1	2
	15	3¼	4¼	5¼	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	9	10	11	12	1	2
	20	3¼	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	7	8	9	10	11	12	1	2¼
	25	3½	4½	5½	6½	7½	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	5	6	7	8	9	10	11	12¼	1¼	2¼
	30	3½	4½	5½	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	3	4	5	6	7	8	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼
	35	3½	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	12	1	2	3	4	5	6	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2½
	40	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	9	10	11	12	1	2	3	4	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12½	1½	2½
	45	3¾	4¾	5¾	7	8	9	10	11	12	1	2	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9½	10½	11½	12½	1½	2½
	50	3¾	5	6	7	8	9	10	11	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2¾
	55	4	5	6	7	8	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12¾	1¾	2¾
3ᵘ = 15	0	4	5	6	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾
	5	4	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	3
	10	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	1	2	3
	15	4¼	5¼	6¼	7¼	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	10	11	12	1	2	3
	20	4¼	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	8	9	10	11	12	1	2	3¼
	25	4½	5½	6½	7½	8½	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	6	7	8	9	10	11	12	1¼	2¼	3¼
	30	4½	5½	6½	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	4	5	6	7	8	9	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼
	35	4½	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	1	2	3	4	5	6	7	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3½
	40	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	10	11	12	1	2	3	4	5	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1½	2½	3½
	45	4¾	5¾	6¾	8	9	10	11	12	1	2	3	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10½	11½	12½	1½	2½	3½
	50	4¾	6	7	8	9	10	11	12	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3¾
	55	5	6	7	8	9	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1¾	2¾	3¾

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
4^u	0′	5	6	7	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾
=	5	5	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	4
16	10	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	2	3	4
	15	5¼	6¼	7¼	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	11	12	1	2	3	4
	20	5¼	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	9	10	11	12	1	2	3	4¼
	25	5½	6½	7½	8½	9½	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	7	8	9	10	11	12	1	2¼	3¼	4¼
	30	5½	6½	7½	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	5	6	7	8	9	10	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼
	35	5½	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	2	3	4	5	6	7	8	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4½
	40	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	11	12	1	2	3	4	5	6	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½
	45	5¾	6¾	7¾	9	10	11	12	1	2	3	4	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11½	12½	1½	2½	3½	4½
	50	5¾	7	8	9	10	11	12	1	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4¾
	55	6	7	8	9	10	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2¾	3¾	4¾
5^u	0	6	7	8	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾
=	5	6	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	5
17	10	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	3	4	5
	15	6¼	7¼	8¼	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	12	1	2	3	4	5
	20	6¼	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	10	11	12	1	2	3	4	5¼
	25	6½	7½	8½	9½	10½	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	8	9	10	11	12	1	2	3¼	4¼	5¼
	30	6½	7½	8½	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	6	7	8	9	10	11	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼
	35	6½	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	3	4	5	6	7	8	9	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5½
	40	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	12	1	2	3	4	5	6	7	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3½	4½	5½
	45	6¾	7¾	8¾	10	11	12	1	2	3	4	5	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12½	1½	2½	3½	4½	5½
	50	6¾	8	9	10	11	12	1	2	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5¾
	55	7	8	9	10	11	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3¾	4¾	5¾
6^u	0	7	8	9	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾
=	5	7	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	6
18	10	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	4	5	6
	15	7¼	8¼	9¼	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	1	2	3	4	5	6
	20	7¼	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	11	12	1	2	3	4	5	6¼
	25	7½	8½	9½	10½	11½	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	9	10	11	12	1	2	3	4¼	5¼	6¼
	30	7½	8½	9½	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	7	8	9	10	11	12	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼
	35	7½	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	4	5	6	7	8	9	10	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6½
	40	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	1	2	3	4	5	6	7	8	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4½	5½	6½
	45	7¾	8¾	9¾	11	12	1	2	3	4	5	6	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1½	2½	3½	4½	5½	6½
	50	7¾	9	10	11	12	1	2	3	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6¾
	55	8	9	10	11	12	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4¾	5¾	6¾
7^u	0	8	9	10	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾
=	5	8	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	7
19	10	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	5	6	7
	15	8¼	9¼	10¼	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	2	3	4	5	6	7
	20	8¼	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	12	1	2	3	4	5	6	7¼
	25	8½	9½	10½	11½	12½	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	10	11	12	1	2	3	4	5¼	6¼	7¼
	30	8½	9½	10½	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	8	9	10	11	12	1	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼
	35	8½	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	5	6	7	8	9	10	11	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7½
	40	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	2	3	4	5	6	7	8	9	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5½	6½	7½
	45	8¾	9¾	10¾	12	1	2	3	4	5	6	7	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½
	50	8¾	10	11	12	1	2	3	4	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7¾
	55	9	10	11	12	1	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5¾	6¾	7¾

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
8h	0'	9	10	11	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾
=	5	9	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	8
20	10	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	6	7	8
	15	9¼	10¼	11¼	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	3	4	5	6	7	8
	20	9¼	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	1	2	3	4	5	6	7	8¼
	25	9½	10½	11½	12½	1½	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	11	12	1	2	3	4	5	6¼	7¼	8¼
	30	9½	10½	11½	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	9	10	11	12	1	2	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼
	35	9½	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	6	7	8	9	10	11	12	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼
	40	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	3	4	5	6	7	8	9	10	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6½	7½	8½
	45	9¾	10¾	11¾	1	2	3	4	5	6	7	8	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3½	4½	5½	6½	7½	8½
	50	9¾	11	12	1	2	3	4	5	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8½
	55	10	11	12	1	2	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6¾	7¾	8¾
9h	0	10	11	12	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾
=	5	10	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	9
21	10	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	7	8	9
	15	10¼	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	4	5	6	7	8	9
	20	10¼	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	2	3	4	5	6	7	8	9¼
	25	10½	11½	12½	1½	2½	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	12	1	2	3	4	5	6	7¼	8¼	9¼
	30	10½	11½	12½	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	10	11	12	1	2	3	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼
	35	10½	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	7	8	9	10	11	12	1	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9½
	40	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	4	5	6	7	8	9	10	11	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7½	8½	9½
	45	10¾	11¾	12¾	2	3	4	5	6	7	8	9	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4½	5½	6½	7½	8½	9½
	50	10¾	12	1	2	3	4	5	6	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9½
	55	11	12	1	2	3	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7¾	8¾	9¾
10h	0	11	12	1	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10½	11½	12½	1½	2½	3½	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾
=	5	11	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	10
22	10	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	8	9	10
	15	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	5	6	7	8	9	10
	20	11¼	12½	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	3	4	5	6	7	8	9	10¼
	25	11½	12½	1½	2½	3½	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	1	2	3	4	5	6	7	8¼	9¼	10¼
	30	11½	12½	1½	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	11	12	1	2	3	4	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼
	35	11½	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	8	9	10	11	12	1	2	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼
	40	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	5	6	7	8	9	10	11	12	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8½	9½	10½
	45	11¾	12¾	1¾	3	4	5	6	7	8	9	10	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5½	6½	7½	8½	9½	10½
	50	11¾	1	2	3	4	5	6	7	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10½
	55	12	1	2	3	4	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8¾	9¾	10¾
11h	0	12	1	2	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11½	12½	1½	2½	3½	4½	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾
=	5	12	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8½	9½	10½	11½	12½	1½	2½	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	11
23	10	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11½	12½	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	9	10	11
	15	12¼	1¼	2¼	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11¾	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	6	7	8	9	10	11
	20	12¼	1½	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	1¾	2¾	4	5	6	7	8	9	10	11¼
	25	12½	1½	2½	3½	4½	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾	12¾	2	3	4	5	6	7	8	9¼	10¼	11¼
	30	12½	1½	2½	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	12	1	2	3	4	5	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼
	35	12½	1¾	2¾	3¾	4¾	5¾	6¾	7¾	9	10	11	12	1	2	3	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11½
	40	12¾	1¾	2¾	3¾	4¾	6	7	8	9	10	11	12	1	2¼	3¼	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9½	10½	11½
	45	12¾	1¾	2¾	4	5	6	7	8	9	10	11	12¼	1¼	2¼	3¼	4¼	5¼	6½	7½	8½	9½	10½	11½
	50	12¾	2	3	4	5	6	7	8	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2¼	3¼	4½	5½	6½	7½	8½	9½	10½	11½
	55	1	2	3	4	5	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12¼	1¼	2½	3½	4½	5½	6½	7½	8½	9¾	10¾	11¾
12h	0'	1	2	3	4¼	5¼	6¼	7¼	8¼	9¼	10¼	11¼	12½	1½	2½	2½	4½	5½	6¾	7¾	8¾	9¾	10¾	11¾

TABEL VAN

Gedurende

VAN UUR TOT UUR WAARGENOMEN

1851. April.	0^u +	0^u −	1^u +	1^u −	2^u +	2^u −	3^u +	3^u −	4^u +	4^u −	5^u +	5^u −	6^u +	6^u −	7^u +	7^u −	8^u +	8^u −	9^u +	9^u −	10^u +	10^u −	11^u +	11^u −
1	34		40		44		41		44		21		9		1			8		9		1	4	
2		24		21		18		16		24		27		35		41		46		48		45		40
3		8	2		10		20		22		16		10		0			11		19		15		13
4	18		24		30		32		35		36		28		26		16		10		15		19	
5		2		1	2		5		7		8		3			4		12		19		24		25
6		24		18		12		4	4		6		5		4		0			9		12		16
7		22		17		10		0	8		15		15		12		8			1		12		20
8		10		12		12		4		0	2		1		2			5		16		21		26
9		42		46		42		36		27		22		13		8		8		12		17		24
10		24		30		32		24		20		12		4	3		6		5			0		5
11		4		10		19		25		24		20		18		16		7		2		2		0
12		12		16		24		32		38		40		28		22		16		8		0	4	
13		0		1		5		11		16		22		24		18		13		4	3		9	
14	8		9		4			0		6		14		17		20		15		8		0	6	
15	2		6		10		6		2			6		13		18		23		17		12		7
16		3	4		10		12		10		4			4		11		17		18		8		2
17		11		9		4	0		2			2		6		14		20		25		23		18
18		14		8		0	8		10		9		3			5		12		20		25		26
19		16		9		1	6		11		13		11		6			0		10		16		18
20		11		6		0	10		15		19		20		12		4			6		14		20
21		49		15		38		27		16		6		1		2		0		2		6		8
22		22		15		11		9		0		0	7		7		9			1		12		20
23		10		12		3	2		10		20		27		30		30		25		18		7	
24		20		24		27		18		12		4	5		13		18		18		16		12	
25	13		7		2			1		3	1		8		16		21		27		28		28	
26	8		1		7			13		17		20		13		8		3	8		15		20	
27	21		16		11		4			4		10		12		4		0	9		18		25	
28	12		14		10		3			5		14		18		17		11		8	2		10	
29		2		1		4		12		20		26		34		33		39		33		25		2[illegible]
30		38		26		19		10		17		19		25		39		40		32		30		2[illegible]
	116	368	123	327	140	281	152	242	180	249	173	261	152	265	132	285	112	306	102	330	115	320	144	33[illegible]
		116		123		140		152		180		173		152		132		112		102		115		14[illegible]
		252		204		141		90		69		91		113		153		194		228		205		19[illegible]
		− 8,40		− 6,80		− 4,70		− 3,00		− 2,30		− 3,03		− 3,77		− 5,10		− 6,47		− 7,60		− 6,83		− 6,41

NB. De uren beginnen op den *middag* van elken datum, zoo dat 0*u* overeenstemt met 12*u* des middags, en de laatste kolom van 11*u*, de waterhoogten levert van den volgenden dag één uur vóór den middag.

Elke kolom is in twee afdeelingen gescheiden, met de teekens + en — aangeduid, bevattende de eerste de waterhoogten *boven peil*, de tweede die *onder peil*.

RHOOGTEN,

il 1851,

ATERKANTOOR TE AMSTERDAM.

2u +	2u −	3u +	3u −	4u +	4u −	5u +	5u −	6u +	6u −	7u +	7u −	8u +	8u −	9u +	9u −	10u +	10u −	11u +	11u −	GEMIDD. WIND-RIGTING.	WIND-KRACHT.	GEMIDD. BAROM.
23		19		14		4			9		17		23		28		30		28			
	8		2		2		2		6		12		22		28		24		16			
8		13		20		23		16		18		16		12		7		12				
36		40		44		45		42		36		26		18		10		2				
	10		0	5		7		4		4			9		13		24		31			
2		6		10		9		7		2			4		14		20		24			
	20		16		4	4		8		10		12		8			0		3			
	32		29		25		19		16		16		20		26		31		35			
	37		31		26		19		12		8		6		7		13		18			
	26		28		26		20		14		8		2	2		2			1			
	16		23		27		30		29		26		22		16		11		10			
	4		10		18		25		28		26		20		16		8		2			
13		8		2			7		14		17		13		10		4	4				
16		13		8			1		8		14		17		14		9		6			
13		11		9			0		6		16		21		21		15		11			
23		23		28		24		19		10			4		12		17		14			
8		9		11		8		2			5		15		22		25		18			
	7		2	3			0		4		11		16		22		25		22			
	0	8		16		17		16		11		4			4		12		16			
	8		5		9		13		24		36		43		47		50		52			
	7		1	5		9		14		10		6			4		12		20			
	16		4	6		13		18		19		20		13		6			4			
	16		9		7		0	10		14		11		6			2		14			
	11		15		14		8		1	6		13		17		18		16				
13		8		5		0			4	1		5		11		12		10				
1			6		14		18		7		9		2	7		13		18				
20		10			0		7		13		12		8		6	0		8				
6		2			5		12		17		21		22		16		14		7			
	18		21		28		36		40		43		50		48		49		47			
2		7			0		6		12		20		27		23		16		8			
70	236	182	202	186	205	163	223	156	264	141	317	113	366	94	402	68	411	70	437			
	170		182		186		163		156		141		113		94		68		70			
	66		20		19		60		108		176		253		308		343		367			
	− 2,20		− 0,67		− 0,63		− 2,00		− 3,60		− 5,87		− 8,43		− 10,27		− 11,43		− 12,23			

De waterhoogten zijn alle in Nederlandsche duimen opgeteekend. De gemiddelden zijn tot *honderdsten* van duimen aangewezen. Deze gemiddelden zijn toevallig alle *onder peil*, dus alle met het teeken —

De twee voorlaatste kolommen zijn bestemd voor de gemiddelde windrigting en windkracht; de laatste kolom voor de gemiddelde Barometerhoogte.

WATE

GERANGSCHIKT VOLG

van 14 tot 20

1851 APRIL.	TIJD VAN MAANS-DOORGANG.	MA																			
		0		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
		+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—
14	11ᵘ 17′	7½		14		15		15		11		4			5		11		15½		15
15	12 10	2		8		12½		10		7			1½		11		18½		21		18
16	13 3	14		23		28		27		23		17		6½			6		13		15
17	13 56	3		9		11		8		2			5		16½		23		23		17
18	14 49		3	2½		0			4		11		16		22		25		22		11
19	15 42	14		17		16½		12		6		2			12		16		11		[illegible]
20	16 34		11		21		33		41		46		49		51½		49½		46		[illegible]
	97ᵘ 31′	40½	14	73½	21	83	33	72	45	49	57	23	71½	6½	118		149		151½		12
		14		21		33		45			49		23		6½						
		26½		52½		50		27			8		48½		111½						
7	13ᵘ 56′ = 209° 0′	+ 3.8		+ 7.5		+ 7.1		+ 3.9			— 1.1		— 6.9		— 15.9		—21.3		—21.6		—17

De getallen dezer Tabel zijn uitgezocht uit de *Tabel van de waargenomen Waterhoogten*, voor April 18 Amsterdam, met behulp der *Tafel voor het rangschikken der Waterhoogten volgens de Uurhoeken der Maan*, zoo pag. 22 en volgende is aangewezen.

De *eerste* kolom bevat de datums, beginnende 1 dag vóór den dag der volle maan, zoo dat de *vierde* dag v zevental, of de gemiddelde datum, ongeveer 2 dagen *na volle maan* invalt, dat is omstreeks den tijd der hoogste of springtijden.

De *tweede* kolom wijst de tijden aan van den doorgang der maan door den meridiaan, genomen uit den Al

De volgende kolom, die van 0ᵘ, bevat de waterhoogten, op het *naaste kwartier* bij den tijd van maans-do

E N,

KEN DER MAAN,

Amsterdam.

EKEN.

12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23	
+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—
1		5		9		7		3			4		13		18		23		17		12		7
½		7		11½		10½		5½			2		9		15		18		8		2	6	
	6½		2	1		0			5		12		19		24		24		19½		14		8
2		8½		9½		6		0			9		19		25		25		21		16		9
7		11½		12½		9½		3			5		13		18		15		8		4	6	
13		19		18½		10		1½			8½		15½		20		17½		11		7		6
	6		1		2		0		4		6		9½		12		9		5½	½		6	
25½	12½	51	3	62	2	43	0	13	9		46½		98		132		131½		90	½	55	18	27
12½		3		2		0		9													½		18
13		48		60		43		4													54½		9
+ 1.9		+ 6.9		+ 8.6		+ 6.1		+ 0.6		— 6.7		— 14.0		— 18.9		— 18.8		— 12.8		— 7.8		— 1.3	

gns ziet men in de *Tafel voor het rangschikken der Waterhoogten* de uren van den dag die met de achtervol-aans-uurhoeken overeenstemmen, en in de kolommen 1, 2, 3 enz. dezer Tabel de waterhoogten.

Indien men uit de hier gevonden gemiddelde waterhoogten, naar het voorschrift der formule (11) de getallen P_1, P_2 enz. berekent, bekomt men:

1851. $\beta = 209° 0'$ $Q = -5,64$ $P_1 = +0,952$ $P_2 = +8,963$ $P_3 = +0,037$ $P_4 = -0,346$
$Q_1 = -1,411$ $Q_2 = -10,584$ $Q_3 = -0,762$ $Q_4 = -0,743$

3. Den 17^den^ April is de ware tijd nagenoeg gelijk aan den middelbaren tijd; in andere gevallen moet de gemiddelde *middelbare* tijd van maans-doorgang tot *ware tijd* herleid worden, om den hoek β te vinden.

1, Q_1, P_2, Q_2, P_3, Q_3, P_4 EN Q_4.

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
2,20	—0,67	— 0,63	— 2,00	—3,60	— 5,87	— 8,43	— 10,27	—11,43	—12,23	
5,10	— 3,03	Recapitulatie. — 3,70 — 8,074			— 8,40 6,80			Uitkomst.		

VOORBEELD VAN BEREKENING DER GETALLEN Q, P_1, Q_1, P_2, Q_2, P_3, Q_3, P_4 EN Q_4.

UURCIJFERS.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
GEMIDD. WATERHOOGTEN.	−8,40	−6,80	−4,70	−3,00	−2,30	−3,03	−3,77	−5,10	−6,47	−7,60	−6,83	−6,41	−4,70	−3,33	−2,20	−0,67	−0,63	−2,00	−3,60	−5,87	−8,43	−10,27	−11,43	−12,23

+ 0 = − 8,40
−12 = + 4,70
− 3,70

+ 1 = − 6,80 | + 2 = − 4,70 | + 3 = − 3,00 | + 4 = − 2,30 | + 5 = − 3,03
−11 = + 6,41 | −10 = + 6,83 | − 9 = + 7,60 | − 8 = + 6,47 | − 7 = + 5,10
−13 = + 3,33 | −14 = + 2,20 | −15 = + 0,67 | −16 = + 0,63 | −17 = + 2,00
+23 = − 12,23 | +22 = − 11,43 | +21 = − 10,27 | +20 = − 8,43 | +19 = − 5,87

+ 9,74 − 19,03
− 19,03
− 9,29
$\frac{1}{28}$ bij 0,106
$\frac{1}{72}$ af 0,129
− 8,974

+ 9,03 − 16,13
− 16,13
− 7,10
$\frac{1}{10}$ af . . . 0,710
$\frac{1}{30}$ af . . . 0,237
$\frac{1}{2500}$ af . . . 0,003
0,950
− 6,150

+ 8,27 − 13,27
− 13,27
− 5,00
$\frac{1}{25}$ bij 0,200
$\frac{1}{2500}$ bij 0,002
$\frac{1}{3}$ af 1,667
− 3,535

+ 7,10 − 10,73
− 10,73
− 3,63
2 —
− 1,816

+ 7,10 − 8,90
− 8,90
− 1,80
4 —
− 0,450
$\frac{1}{28}$ bij 0,016
− 0,466

Recapitulatie
− 3,70
− 8,974
− 6,150
− 3,535
− 1,815
− 0,466
− 24,640
12 —
− 2,053
= P_1

+ 6 = − 3,77
−18 = + 3,60
− 0,17

+ 5 = − 3,03 | + 4 = − 2,30 | + 3 = − 3,00 | + 2 = − 4,70 | + 1 = − 6,80
+ 7 = − 5,10 | + 8 = − 6,47 | + 9 = − 7,60 | +10 = − 6,83 | +11 = − 6,41
−17 = + 2,00 | −16 = + 0,63 | −15 = + 0,67 | −14 = + 2,20 | −13 = + 3,33
−19 = + 5,87 | −20 = + 8,43 | −21 = + 10,27 | −22 = + 11,43 | −23 = + 12,23

+ 7,87 − 8,13
− 8,13
− 0,26
$\frac{1}{28}$ bij 0,003
$\frac{1}{22}$ af 0,012
− 0,251

+ 9,06 − 8,77
− 8,77
+ 0,29
$\frac{1}{10}$ af . . . 0,029
$\frac{1}{30}$ af . . . 0,009
$\frac{1}{2500}$ af . . . 0,000
0,038
+ 0,252

+ 10,94 − 10,60
− 10,60
+ 0,34
$\frac{1}{25}$ bij 0,014
$\frac{1}{2500}$ bij 0
$\frac{1}{3}$ af 0,113
+ 0,241

+ 13,63 − 11,53
− 11,53
+ 2,10
2 —
+ 1,050

+ 15,56 − 13,21
− 13,21
+ 2,35
4 —
+ 0,587
$\frac{1}{28}$ bij 0,021
+ 0,608

Recapitulatie.
− 0,170
− 0,251
+ 0,252
+ 0,241
+ 1,050
+ 0,608
+ 2,151 − 0,421
− 0,421
+ 1,730
12 —
+ 0,144
= Q_1

+ 0 = − 8,40 | + 1 = − 6,80 | + 2 = − 4,70
− 6 = + 3,77 | − 5 = + 3,03 | − 4 = + 2,30
+12 = − 4,70 | − 7 = + 5,10 | − 8 = + 6,47
−18 = + 3,60 | +11 = − 6,41 | +10 = − 6,83
+ 7,37 − 13,10 | +13 = − 3,33 | +14 = − 2,20
− 13,10 | −17 = + 2,00 | −16 = + 0,63
− 5,73 | −19 = + 5,87 | −20 = + 8,43
| +23 = − 12,23 | +22 = − 11,43

+ 16,00 − 28,77
− 28,77
− 12,770
$\frac{1}{10}$ af . . 1,277
$\frac{1}{30}$ af . . 0,426
$\frac{1}{2500}$ af . . 0,006
1,709
− 11,061

+ 17,83 − 25,16
− 25,16
− 7,33
2 —
− 3,665

Recapitulatie.
− 5,730
− 11,061
− 3,665
− 20,456
12 —
− 1,705
P_2

+ 3 = − 3,00 | + 2 = − 4,70 | + 1 = − 6,80
− 9 = + 7,60 | + 4 = − 2,30 | + 5 = − 3,03
+15 = − 0,67 | − 8 = + 6,47 | − 7 = + 5,10
−21 = + 10,27 | −10 = + 6,83 | −11 = + 6,41
+ 17,87 − 3,67 | +14 = − 2,20 | +13 = − 3,33
− 3,67 | +16 = − 0,63 | +17 = − 2,00
+ 14,20 | −20 = + 8,43 | −19 = + 5,87
| −22 = + 11,43 | −23 = + 12,23

+ 33,16 − 9,83
− 9,83
+ 23,330
$\frac{1}{30}$ af . . . 0,333
$\frac{1}{30}$ af . . . 0,778
$\frac{1}{2000}$ af . . . 0,012
3,123
+ 20,207

+ 29,61 − 16,76
− 16,76
+ 12,85
2 —
+ 6,425

Recapitulatie
+ 14,200
+ 20,207
+ 6,425
+ 40,832
12 —
+ 3,403
= Q_2

+ 0 = − 8,40 | + 2 = − 4,70
− 4 = + 2,30 | − 6 = + 3,77
+ 8 = − 6,47 | +10 = − 6,83
−12 = + 4,70 | −14 = + 2,20
+16 = − 0,63 | +18 = − 3,60
−20 = + 8,43 | −22 = + 11,43

+ 15,43 − 15,50 | + 17,40 − 15,13
15,50 | − 15,13
− 0,07 | + 2,27

+ 1 = − 6,80 | + 1 = − 6,80
− 3 = + 3,00 | + 3 = − 3,00
− 5 = + 3,03 | − 5 = + 3,03
+ 7 = − 5,10 | − 7 = + 5,10
+ 9 = − 7,60 | + 9 = − 7,60
−11 = + 6,41 | +11 = − 6,41
−13 = + 3,33 | −13 = + 3,33
+15 = − 0,67 | −15 = + 0,67
+17 = − 2,00 | +17 = − 2,00
−19 = + 5,87 | +19 = − 5,87
−21 = + 10,27 | −21 = + 10,27
+23 = − 12,23 | −23 = + 12,23

+ 31,91 − 34,10 | + 34,63 − 31,68
− 34,10 | − 31,68
− 2,19 | + 2,95
$\frac{1}{25}$ bij 0,100 | $\frac{1}{25}$ bij 0,118
$\frac{1}{2500}$ bij 0,001 | $\frac{1}{2500}$ bij 0,001
$\frac{1}{3}$ af 0,830 | $\frac{1}{3}$ af 0,983
− 1,761 | + 2,086
− 0,070 | + 2,270
− 1,831 | + 4,356
12 — | 12 —
− 0,152 | + 0,363
P_3 | = Q_3

+ 0 = − 8,40 | + 1 = − 6,80 | + 1 = − 6,80
− 3 = + 3,00 | − 2 = + 4,70 | + 2 = − 4,70
+ 6 = − 3,77 | − 4 = + 2,30 | − 4 = + 2,30
− 9 = + 7,60 | + 5 = − 3,03 | − 5 = + 3,03
+12 = − 4,70 | + 7 = − 5,10 | + 7 = − 5,10
−15 = + 0,67 | − 8 = + 6,47 | + 8 = − 6,47
+18 = − 3,60 | −10 = + 6,83 | −10 = + 6,83
−21 = + 10,27 | −11 = + 6,41 | −11 = + 6,41
| +13 = − 3,33 | +13 = − 3,33
+ 21,54 − 20,17 | +14 = − 2,20 | +14 = − 2,20
− 20,17 | −16 = + 0,63 | −16 = + 0,63
+ 1,07 | −17 = + 2,00 | −17 = + 2,00
| +19 = − 5,87 | +19 = − 5,87
| −20 = + 8,43 | +20 = − 8,43
| −22 = + 11,43 | −22 = + 11,43
| +23 = − 12,23 | −23 = + 12,23

+ 12,99 − 14,77 | + 41,86 − 42,90
− 14,77 | − 42,90
− 1,78 | + 1,960
2 — | $\frac{1}{10}$ af . . . 0,196
− 0,890 | $\frac{1}{30}$ af . . . 0,065
+ 1,070 | $\frac{1}{2500}$ af . . . 0,001
+ 0,180 | 0,262
12 — | + 1,698
+ 0,015 | 12 —
= P_4 | + 0,141
| = Q_4

− 8,40
6,80
4,70
3,00
2,30
3,03
3,37
5,10
6,17
7,60
6,83
6,41
4,70
3,33
2,20
0,67
0,63
2,00
3,60
5,87
8,43
10,27
11,43
− 12,23
− 129,37
24 —
− 5,390
= Q

Uitkomst.

Q = − 5,390

P_1 = − 2,053
Q_1 = + 0,144

P_2 = − 1,705
Q_2 = + 3,404

P_3 = − 0,152
Q_3 = + 0,363

P_4 = + 0,015
Q_4 = + 0,141

Amsterdam,
April 1851.

NB. Boven op dit blad in de tweede rij, staan de 24 gemiddelde Waterhoogten, overeenstemmende met de uurhoeken, die door de cijfers 0 tot 23 worden aangewezen; deze cijfers zijn *uurcijfers* genoemd.

In elke der 9 *vertikale* kolommen staan de *uurcijfers* het eerst, ter linkerzijde, met teekens + of — *vóór* zich. Is het + (*plus*) dan schrijft men het overeenstemmende getal der waterhoogte *met hetzelfde teeken als het heeft*, uit de tweede horizontale rij, naast het uurcijfer; is het — (*min*) dan *verandert men het teeken* der gemiddelde waterhoogte, en schrijft haar aldus naast het uurcijfer: de getallen die + bekomen schrijft men ondereen, en die — bekomen insgelijks; en voegt alle te zamen met inachtneming van de regels der teekens. De aftrekkingen en bijvoegingen van gedeelten, die vervolgens op de Tabel aangewezen zijn, dienen ter vermenigvuldiging der gevondene sommen met *Sin.* 75°, *Sin.* 60°, *Sin.* 45°, *Sin.* 30° of *Sin.* 15°. De laatste bewerking, na de bijeenvoeging der gedeeltelijke uitkomsten, is altijd eene deeling door 12; behalve voor Q, waarbij door 24 moet gedeeld worden. Vergelijk de formule (11).

Wanneer de lijnen en cijfers dezer Tabel, die onveranderd blijven, *gedrukt zijn*, dan is verder de invulling en berekening gemakkelijk en kan in weinig tijds gedaan worden.

OVER DE

OORZAKEN DER ZELFONTBRANDING

VAN

STOFFEN, IN SCHEPEN GELADEN.

DOOR

G. J. MULDER, A. H. VAN DER BOON MESCH EN *J. C. RIJK.*

Uitgegeven door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.

AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.
1854.

VERSLAG

VAN DE HEEREN

G. J. MULDER, A. H. VAN DER BOON MESCH EN *J. C. RIJK*.

OVER DE

OORZAKEN DER ZELFONTBRANDING

VAN

STOFFEN, IN SCHEPEN GELADEN.

(NAAR AANLEIDING DER AANSCHRIJVING VAN DEN MINISTER VAN BINNENLANDSCHE ZAKEN, VAN DEN 2den SEPTEMBER 1853.)

In de vergadering der Koninklijke Akademie van Wetenschappen, gehouden in de maand September l.l., is aan de ondergeteekenden een onderzoek opgedragen, hetwelk de meest mogelijke naauwgezetheid in de behandeling en alzoo ook den noodigen tijd vorderde, om ons in staat te stellen, aan het ons geschonken vertrouwen eenigermate te voldoen. Het geldt de oorzaken der zelfontbranding van stoffen, in schepen geladen; een verschijnsel, dat zich in den laatsten tijd met droevige gevolgen bij herhaling zou hebben voorgedaan en waaromtrent regtmatige bezorgdheid bij scheepsreeders was ontstaan, die zich tot de Hooge Regering hebben gewend, met verzoek, om deze aangelegenheid wetenschappelijk en toepasselijk te doen onderzoeken, ten einde voor de toekomst tegen daaruit ontstane rampen zoo veel mogelijk gevrijwaard te zijn.

Zijne Excellentie de Minister van Binnenlandsche Zaken heeft het hooge gewigt van deze zaak verstaan, haar met lofwaardige belangstelling opgenomen en vraagt, onder toezending van eene menigte bescheiden, het oordeel der Akademie en haar licht, om in dezen, zoo mogelijk, tot eene bepaalde uitkomst te geraken.

Onder die bescheiden behoort eene correspondentie, gevoerd tusschen de Ministeriën van Koloniën en Binnenlandsche Zaken, de Nederlandsche Handelmaatschappij en de Kamers van Koophandel van Amsterdam en Rotterdam, waarin steeds de aangelegenheid met zorg en belangstelling wordt opgenomen, en bovendien eene brochure van de Heeren Muller en Matthes, reeds over dit onderwerp in het licht gegeven; voorts lijsten der goederen, die zoowel van wege de Nederlandsche Handelmaatschappij, als van het Departement van Koloniën verscheept worden, en die nader zijn aangevuld door eenen staat, getrokken uit de berigten der Kamers van Koophandel en Fabrijken van Amsterdam, Groningen, Leeuwarden, Middelburg, Rotterdam en Zwolle, over wier nadeel dus meer bepaald het oordeel der Akademie wordt ingeroepen.

Wij mogen verklaren, zeker met alle liefde voor dit onderwerp bezield te zijn, zeker alle belangstelling daaraan te hechten, zoo als het hooge gewigt der zaak vereischt, maar willen niet verzwijgen, ook met veel schroom den last op ons genomen te hebben, uithoofde der tallooze bezwaren, die hier aan eene beslissing in bijzonderheden telkens verbonden zijn. De zaak der zelfontbranding is eene zeer bekende; men weet met juistheid aan te geven, dat deze en die voorwerpen, zoo als het heet, van zelf ontbranden kunnen en *waardoor* dit geschiedt; maar van andere is het onder zekere omstandigheden twijfelachtig, van andere geheel onzeker, hoe zeer de mogelijkheid toch niet kan worden ontkend.

En hier is het te doen, om, zoo mogelijk, omtrent *elk* voorwerp, onder *alle* mogelijke omstandigheden, kennis te bekomen, of zelfontbranding mogelijk zij.

Inderdaad; wie zal niet terugdeinzen bij zulk een onderzoek? Wie moet niet verklaren, dat zijne kennis hier zal te kort schieten?

De Akademie verwachte dan ook hier geen volmaakt menschelijk werk, maar een naauwgezet streven met die krachten, welke men gaarne inspande voor de nadering tot eene waarheid, waarvan wij hartelijk wenschen dat de menschheid eenig heil moge te wachten hebben.

Wij hebben in het volbrengen van den ons opgedragen last, niet noodig gehad, door nieuwe en eigene proefnemingen toe te lichten, hetgeen tot eene duidelijke ontwikkeling van het onderwerp behoort. Elk een, die geen vreemdeling is in de toegepaste scheikunde, kent bij ervaring hetgeen tot eene beoordeeling van dit onderwerp, uit het oogpunt der wetenschap beschouwd, gevorderd wordt.

Onze taak was, de bekende feiten te verzamelen, te rangschikken, te ver-

klaren, en alzoo vooreerst de bijzondere gevallen der zelfontbranding in een zuiver licht te plaatsen. Dit onderzoek, hetwelk men het wetenschappelijke zou kunnen noemen, moet den grondslag uitmaken van het andere deel, hetwelk men het toegepaste zou kunnen heeten.

In het eerste gedeelte behandelen wij intusschen, ook de voorwerpen, die tot de bijzondere vraag, omtrent de zelfontbranding op schepen, betrekking hebben; want wie zal bepalen, wat er al, wat er niet op een schip kan voorkomen?

In zoo verre verdient het eerste gedeelte van ons onderzoek, hetwelk wij wetenschappelijk noemden, even zoo den naam van toepasselijk.

De vragen, aan de Akademie en alzoo aan ons voorgelegd, zijn van tweeledigen aard:

1°. Dat er een wetenschappelijk onderzoek ingesteld worde, naar de artikelen van verzending naar Oost-Indië, welke *onder zekere omstandigheden* voor zelfontbranding vatbaar zijn.

2°. Dat daaruit de elementen voortvloeijen van wettelijke bepalingen tot wegneming der bij het vervoer van die artikelen veroorzaakte gevaren voor de veiligheid van lading en schip.

Het zijn deze twee vragen, die gesteld zijn in het adres der genoemde scheepsreeders, en die de Minister van Binnenlandsche Zaken nader aan de Akademie voorlegt. Zij geven ons een deel van onzen last aan de hand. Maar wij hebben toch gemeend, dat het pligt ware, vóór wij reeds de eerste vraag, naar de artikelen zelve, in overweging nemen, in het algemeen de zaak der zelfontbranding te behandelen, en bij de beantwoording der eerste vraag, de zaak ruimer op te vatten, dan voor zoo verre zij betrekking heeft op verzending van goederen in schepen.

Vooreerst toch mogen de lijsten, aan de Akademie overgelegd, waarop de verscheepte goederen voorkomen, geene aanspraak maken op volledigheid; maar ten anderen komen onder de namen van *Chemicaliën, Droogerijen, Kramerijen* juist de meest gevaarlijke stoffen voor, namen, waaronder *alles* verstaan kan worden, wat men verkiest, en alzoo namen, die wij zooveel mogelijk in hunne bijzondere beteekenis behoorden te ontleden. Maar ziedaar ons dan ook op een geheel ander standpunt geplaatst, dan uit de overgelegde lijsten ons standpunt zou kunnen schijnen. Noch hetgeen naar Oost-Indië schijnbaar alleen

verzonden wordt, noch hetgeen schijnbaar alleen tot vervoer op schepen bestemd is, kan ons bevredigen. Wij moeten al de voor zelfontbranding geschikte stoffen omvatten, zullen wij niet een hoogst gebrekkig werk leveren, een werk, hetwelk geene waarde bezit, omdat het de gewigtigste zelfstandigheden buiten overweging laat.

Wij vangen alzoo aan met:

I.

ONTWIKKELING EN VERKLARING VAN DATGENE, HETWELK MEN, IN ONDERSCHEIDENE BETEEKENIS, ONDER DEN NAAM VAN ZELFONTBRANDING VERSTAAT.

Een brandbaar ligchaam kan door een brandend ligchaam worden ontstoken en in brand geraken, dat is, in den toestand van zulke scheikundige wisseling komen, dat er warmte en licht ontwikkeld worden. Daar, waar ditzelfde uitwerksel, zonder opzettelijk aangevoerd brandend ligchaam ontstaat, heet zelfontbranding te bestaan.

Het is in dezen zin, dat wij het woord *zelfontbranding* opvatten; het is uit de toepassing genomen, uit het gewone spraakgebruik afgeleid: men ontsteekt een ligchaam niet, het wordt toch ontstoken; derhalve is het *van zelf* ontstoken.

In wetenschappelijken zin is er echter geene zelfontbranding: *van zelf* geschiedt niets; elk ligchaam blijft in den toestand waarin het verkeert, tot dat het er door zekere oorzaken uit gebragt wordt. Die oorzaken behoeven echter bij scheikundige ligchamen, dat is bij enkelvoudige of regelmatig zamengestelde, niet altoos *van buiten* te worden aangevoerd; integendeel menige stof bezit in zich zelve het vermogen tot zekere verandering. — Zoo wordt het glasachtig arsenigzuur door den tijd melkachtig, zoo wordt de *sucre d'orge* met der tijd kristallijn, en zoo in vele andere gevallen, waar uitwendige invloeden buiten spel blijven.

Van eene zoodanige verhooging van temperatuur echter, waarbij eene brandbaar ligchaam tot glimmen of vlammen kan gebragt worden, enkel door oorzaken *in het ligchaam gelegen*, is geen enkel voorbeeld in de wetenschap bekend.

Ware zelfontbranding in wetenschappelijken zin bestaat er dus niet.

Wij meenen het best te doen, datgene, wat men onder zelfontbranding verstaat, practisch in drie soorten te splitsen:

a. Tot de eerste soort brengen wij de ontbranding, die ontstaat, wanneer

daarvoor vatbare stoffen, enkel aan de lucht worden of zijn blootgesteld. In de toepassing verdient deze soort afzonderlijk te worden overwogen; zij ontstaat in de gewone temperatuur.

Hierbij zullen wij echter weder twee soorten moeten onderscheiden: α waar de zuurstof der lucht *het geheele* verschijnsel bepaalt van zijnen aanvang af tot het einde toe; β waar *de oorsprong* van het verschijnsel in eene andere werking gelegen is, maar het verschijnsel der verbranding zelve, door de zuurstof der lucht wordt tot stand gebragt.

b. Maar een brandbaar ligchaam kan ook soms door wrijving, door stooten, in het algemeen door oorzaken ontbranden, die eene genoegzame hooge temperatuur opwekken. Hier bestaat weder geene zelfontbranding. Uit het oogpunt van het onderwerp moet echter deze wijze van tot ontbranden aan te zetten, met even veel zorg worden overwogen, als elke andere.

c. Een brandbaar ligchaam wordt met eene andere stoffe gemengd, die er scheikundige werking in opwekt, waardoor verhooging van temperatuur, en dien ten gevolge verbranding ontstaat, het zij door de zuurstof der lucht, het zij door de nieuwe aangeboden stoffen zelve.

Ook hier is het geene eigentlijke zelfontbranding, maar het verschijnsel is practisch van evenveel gewigt als de twee eerstgenoemde.

Nevens deze drie soorten, die men steeds met denzelfden naam heeft onderscheiden, maar die in haren aard zeer onderscheiden zijn, heeft men nog andere gesteld, als: Verbranding van voorwerpen, die op zich zelve onbrandbaar schenen, en soms geheel uit zich zelve, soms door een brandend voorwerp schenen te worden ontstoken. Hiertoe behoort datgene, hetwelk men b. v. van menschelijke ligchamen beweerd heeft, die men onder sommige omstanheden brandbaar achtte, en meende dat zij, of zonder aangevoerd brandend ligchaam konden vlam vatten, of door een genaderd brandend ligchaam in vlam konden geraken.

Deze zaak kan zoowel uit de rij der *zelf*ontbranding, als uit die der *verbranding* worden verwijderd: het is gebleken, dat zij tot de sprookjes behoort. Hier behoeft er dus verder geene sprake van te wezen.

Eindelijk heeft men de ontsteking op eenen afstand, van zeer vlugtige brandbare ligchamen, wel zelfontvlamming genoemd, b. v. van ether en soortgelijke ligchamen; maar hoezeer in het onderhavige onderwerp deze soort van ontvlamming wel zeer ter sprake moet komen, heeft het verschijnsel echter met zelfontvlamming niets gemeen. —

In eigentlijken zin bestaat er geene zelfontbranding, zoo als wij reeds opmerkten; met andere woorden: er is geene stof, die uit en door zich zelve zoodanige scheikundige wisseling kan ondergaan, dat er in haar warmte en licht ontwikkeld kunnen worden. — Altoos zijn het invloeden van buiten, die deze wisseling opwekken, al zij het slechts eene geringe verhooging van temperatuur.

Buskruid kan door verhooging van temperatuur, door eene elektrieke vonk, zoo wel in brand geraken, als door dat het met een brandend ligchaam genaderd wordt. Buskruid heeft het vermogen niet om te ontvlammen, ten zij er iets aan gebeure, al is dit ook slechts de warmte, die ontwikkeld wordt door de wrijving van twee ligchamen op elkander, waardoor het buskruid in staat van scheikundige wisseling komt; dan ontbrandt het *in zich zelf*, behoeft het b. v. geene zuurstof der lucht. *Van zelf* ontbrandt buskruid niet.

In *zich zelve* en *van zelve* te ontbranden moet alzoo wederom wel onderscheiden worden.

Phosphorus, eene zeer brandbare zelfstandigheid, geraakt door verwarming veel spoediger in brand dan buskruid, spoediger door wrijving of aanvoering van een brandend ligchaam, maar *in zich zelve* kan phosphorus niet verbranden: het behoeft daartoe b. v. zuurstof, op de eene of andere wijze aangevoerd.

Ter waardering der uitwendige invloeden op de verbranding, is dus het onderscheid van gewigt tusschen *in zich zelve* en *van zelve* te verbranden.

Er is dan geen ligchaam bekend, hetwelk, zonder dat uitwendige invloeden daarop werken, van zelf in brand kan geraken. Maar er zijn er vele, die dit schijnbaar doen, omdat *geringe*, soms voorbijgeziene uitwendige invloeden tot de ontbranding voldoende zijn.

a. LIGCHAMEN, DIE IN BRAND GERAKEN, ENKEL DOOR AAN DE LUCHT BLOOTGESTELD TE WORDEN.

Hiertoe behooren:

α. Ligchamen die zuurstof uit de lucht condenseren en zich daardoor verhitten, zoodat zij ten slotte ontbranden.

Hier treffen wij vooreerst de klasse der dus genoemde *pyrophoren* aan, *vuurdragers* geheeten, omdat zij schijnbaar van zelve beginnen te glimmen.

Aluin met kool gebrand, is zulk een pyrophoor. Aluin is zwavelzure potassa en zwavelzure aluinaarde. Wordt die met kool gebrand, dan wordt er

zwavel-kalium gemaakt, dat met de overtollige kool en de aluinaarde gemengd blijft. In een gesloten vat blijft deze vuurdrager zonder verbranding. Maar stort men hem in de lucht uit, of komt de lucht met hem in aanraking, dan wordt door de poreuse kool onmiddellijk veel zuurstof uit de lucht verdigt. Die zuurstof wordt gevoerd bij het zwavel-potassium, en dit wordt eensklaps geoxydeerd, de zwavel zoo wel als het metaal; er wordt warmte bij ontwikkeld, die warmte doet de kool gloeijen, en alles verbrandt onder glimmen en vonkelen, alles wordt nu door de omringende zuurstof der lucht zooveel mogelijk geoxydeerd.

Hier hebben wij een voorbeeld van zelfontbranding, en toch is het geene ware zelfontbranding, die hier plaats heeft, want zonder toetreding der lucht zou geene ontbranding zijn gevolgd. In waarheid is dus deze verbranding het gevolg van vermenging van twee stoffen, die oorspronkelijk niet bij elkander waren, en in zekeren zin dus gelijkstaande met de ontvlamming van een mengsel van terpentijnolie met rookend salpeterzuur.

Maar wij onderscheiden de soort van ontbranding, die wij in het voorbeeld van den aluin-pyrophoor hebben aangeduid, ter dezer plaatse, omdat het voor de toepassing van gewigt is.

Er is dus eene soort van stoffen, die slechts met de lucht in aanraking behoeven te komen, om te ontbranden. Men noemt ze pyrophoren. De verbranding, alzoo opgewekt, kan aan allerlei zelfstandigheden worden medegedeeld. Zij zijn alzoo zeer te schuwen.

Onder de pyrophoren behoort vooreerst die van Homberg, bereid door potassa-aluin te verhitten met koolpoeder, suiker, meel enz. Voorts wordt er een verkregen door gloeijen van zwavelzure soda, of zwavelzure potassa met kool, ook door sterk gloeijen van koolzure potassa met kool. Men kan zeer verschillende mengsels gebruiken, en de ervaring heeft geleerd dat, bij het aanwezig zijn van een potassa- of sodazout, bij sterk gloeijen vooral, een goede pyrophoor wordt verkregen, hetgeen in sommigen op herleid potassium of natrium wijst, reeds op zich zelf ontbrandbaar in zuurstof, maar hier nog ondersteund door het fijn verdeelde koolpoeder. Een zeer goede pyrophoor bereidt men, wanneer gelijke deelen gebrande aluin, gebrande koolzure potassa en zwartsel, innig zamen gemengd en in een glas in zand geplaatst, sterk gegloeid worden en onmiddelijk daarna de opening van het glas gesloten wordt. (*Mémoires de l'Académie*, 1710 en 1711.)

Den eersten pyrophoor, door Homberg ontdekt, had hij bereid, door excreta

van menschen met aluin te branden. Lemery leerde, dat in de plaats der exereta honig, suiker of meel konden gebezigd worden. (*Mém. de l'Académie*, 1714 en 1715). — Volgens Scheele en Bergmann leerde men ook andere zwavelzure alkalische zouten gebruiken, en onder anderen ook uit een mengsel van 1 deel potasch, $\frac{1}{4}$ deel zwavel en $\frac{1}{3}$ deel zwartsel een goeden pyrophoor bereiden.

Vooral heeft Proust (*Journ. de Phys.* Tom. 13, p. 432) de kennis van de pyrophoren uitgebreid; maar de meesten vallen in de reeks der reeds genoemden.

De tot nu toe behandelde pyrophoren zijn derhalve: fijn verdeeld potassium of sodium met fijn kolenpoeder, of fijn verdeeld sulphuretum potassii of sodii, met fijn kolenpoeder.

Gay-Lussac (*Ann. de Ch. et de Phys.* Tom. 37 p. 415) heeft aangetoond, dat koolpoeder hierbij niet noodzakelijk is; 75 d. aluin met 3,5 deel zwartsel, door branden tot eene roodbruine massa gebragt, ontbrandt insgelijks. Hier zijn enkel zwavel-metalen mogelijk; de kool is verbrand. — 27,3 Zwavelzure potassa, gegloeid met 7,5 d. zwartsel, gaf geen pyrophoor, maar 27,3 zwavelzure potassa met 15 d. zwartsel een zeer sterk en snel ontbrandenden. — Ook hier is weder zwavel-kalium de oorzaak der ontbranding, ondersteund door het vermogen der overgebleven kool, om zuurstof op te slorpen. Gay-Lussac heeft verder de wijze nagegaan, op welke een pyrophoor uit gebranden potassa-aluin en zwartsel tot stand komt. Daarbij is het gebleken, dat bij de ontbranding van den pyrophoor zeer veel zwavelig-zuur vrij komt. Er moet derhalve een kalium polysulphureet zijn gevormd, want van K S ontstaat bij oxydatie SO^3, KO.

Uit de zamenstelling van den aluin, SO^3, KO + $3SO^3$, Al^2O^3, is een polysulphureet van kalium, onder het gloeijen van aluin met kool, zeer gemakkelijk te verklaren.

Uit deze ontwikkeling van zwavelig-zuur vloeit dus tevens voort, dat er geen vrij kalium in dezen pyrophoor voorhanden is. Gay-Lussac overtuigde zich no nader, door dat hij den pyrophoor, in water gebragt, geen hydrogenium zag ontwikkelen.

Daar hij gevonden had, dat de kool niet onvermijdelijk is tot de ontbranding van den pyrophoor, onderzocht hij ook, of de aluinaarde wel noodig was. Het bleek, dat zij kon ontbreken, maar dat door haar de poreusheid der massa wordt bevorderd, en daardoor het vermogen, om in korten tijd veel zuurstof op te nemen.

Den sterksten pyrophoor bekwam hij door 27,5 d. zwavelzure potassa (1 aeq.) met 15 d. kool (2 aeq.) te verhitten. De verbranding, hiervan veroorzaakt, noemde GAY-LUSSAC voor hem gevaarlijk, bij het overbrengen van den pyrophoor in een glas *.

«Sedert eeuwen bedient men zich van buskruid en toch heeft men eerst «kort geleden bespeurd, dat hetgeen het na de verbranding achterlaat, een «goede en voor de Artillerie gevaarlijke pyrophoor is." Met deze woorden opent MORITZ MEYER in *Pogg. Ann.* 1829 Bd. 16 S. 557. eenige opmerkingen over deze stoffe. Bij onvolkomene verbranding van het kruid, bij zwakke ladingen en korten loop, wordt zulk een vast overblijfsel het meest gevormd. In vochtige lucht wordt dit overblijfsel snel vochtig; neemt men het echter nog droog zijnde weg, pakt men het in papier of wol, zoo wordt het na eenige minuten warm, en bij eene hoeveelheid van $\frac{1}{2}$ lood, is het binnen een kwartier uurs aan het branden. Het hoofdbestanddeel van dit overblijfsel is, gelijk men weet, zwavelkalium, gemengd met zwavelzure en koolzure potassa en kool en eenige zwavel. Kalium komt er in vrijen toestand niet in voor; want in water ontwikkelt het geen hydrogenium. MEYER vond het zwavelkalium niet uni-sulphureet, maar poly-sulphureet; voorts zag hij, hetgeen GAY-LUSSAC van den aluin-pyrophoor en van dien, uit zwavelzure potassa en kool bereid, reeds gevonden had, dat drooge lucht geene ontbranding voortbragt, maar wel vochtige.

Deze pyrophoor van MEYER is dus in wezen aan den laatstgenoemden gelijk. Zijn voorkomen op plaatsen, waar geschut gelost wordt, verdient in de toepassing behartiging. Aan het terugblijven van dezen pyrophoor in het geschut, niet aan teruggebleven brandend buskruid, moet de ontbranding worden toegeschreven, die bij het niet genoeg schoonmaken van het geschut soms ontstaat.

PLEISCHL deelt mede (*Schweigger's Journ.* Bd. 44 S. 575, 1825), dat zwavellever in eene Apotheek eenmaal van zelf ontbrandde. Maar de potassa, daartoe aangewend, was gebezigd ter rectificatie van alcohol, en daarbij bruin geworden. Hierdoor werd alzoo, bij de zamensmelting dier potassa met zwavel, door de kool dier bruine stoffe, meer poly-sulphureet van kalium gemaakt, dan anders bij het gebruik van gewone potasch. Eerst na eenigen tijd ontbrandde

* In *Poggend. Annal. Bd.* 13 (1828) *S.* 303, waarin deze proeven van GAY-LUSSAC overgenomen zijn, vindt men in de noot menige bijdrage aangehaald.

een gedeelte hiervan, dat, ter gereedmaking van den inhoud van een recept, uit de in eene geslotene flesch bewaarde massa genomen en aan de lucht blootgesteld was.

De klasse dezer pyrophorische ligchamen is zeer groot. Als wel bekende staan opgeteekend: loodzouten met organische zuren, die men in gesloten vaten verhit heeft, b. v. wijnsteenzuur loodoxyde. Door de verhitting worden fijn verdeeld lood en kool achtergelaten. Wordt dit mengsel aan de lucht blootgesteld, geheel afgekoeld en des noods lang geleden bereid zijnde, zoo zal de zuurstof der lucht alweder door de poreuse stoffen, hier lood en kool, verdigt worden; er zal van beide oxydatie ontstaan en glimming veroorzaakt worden; de kool verbrandt en er blijft loodoxyde over.

Ook dit is een voorbeeld van eene verbranding, die het meest den naam van zelfverbranding verdient; hier is echter wederom toetreding van lucht noodzakelijk, om haar voort te brengen, maar deze is ook volkomen genoeg.

Serullas heeft het eerst opmerkzaam gemaakt (*Journ. de Phys.* 1821) op een pyrophoor, uit tartarus emeticus bereid. Men verhit dit zout zoo lang in een glas, tot er geene brandbare gassen meer uittogen en sluit het glas daarna. Er blijft koolpoeder met antimonium en kalium over. Dat dit laatste werkelijk het geval is, blijkt uit de sterke ontleding, die water daardoor ondervindt. Wordt namelijk dit zwarte poeder met water bevochtigd, zoo wordt het water met kracht ontleed. Maar ook in vochtige lucht ontbrandt het; het is een der pyrophoren, die met omzigtigheid moeten behandeld worden, wil men zich niet aan omslingerende vonken blootstellen, wanneer de pyrophoor met water wordt bevochtigd.

Zeer vele metalen, mits uiterst fijn verdeeld, verkeeren in hetzelfde geval als de aluin- en lood-pyrophoor. Men herleide ijzeroxyde door waterstof bij eene lage temperatuur tot ijzer; men late bekoelen. Dit poedervormige ijzer kan met de lucht niet in aanmerking komen, of het verbrandt, het neemt zuurstof op. Het is als bij den lood-pyrophoor; de kool is niet noodzakelijk voor de vrij te ontstane verbranding; het poedervormige metaal verdigt in het voorbeeld van het ijzer, zelf de zuurstof der lucht.

Boussingault heeft (*Ann. de Ch. et de Phys. Tom.* 53 *p.* 441) eenen pyrophorus beschreven, die uit fijn verdeeld ijzer en platina bestaat. Eene oplossing dezer twee metalen wordt nedergeslagen door ammonia en het nederslag in eenen stroom waterstof herleid. Deze stoffe is bij uitnemendheid pyrophorisch. Hier heeft men met twee poreus verdeelde metalen te doen, welke

beide gassen verdigten, vooral het platina; terwijl het ijzer, bij verdigting van zuurstof uit de lucht, als enkel fijn verdeeld ijzer gloeit en geoxydeerd wordt.

Aan POGGENDORFF en MAGNUS (*Pog. Ann.* Bd. 1 S. 258 en 267, Bd. 5 S. 81, Bd. 7 S. 155) zijn wij veel kennis aangaande de pyrophoren verschuldigd. Behalven de genoemde metalen, kunnen in fijn verdeelden toestand als pyrophoren optreden: nickel en kobalt, uran en anderen; voorts platina, salammoniak met kurkpoeder gegloeid, kopergroen met kurkpoeder verhit. Van uran-verbindingen zijn er meerderen, die wanneer zij door hydrogenium gedesoxydeerd zijn, vuur vatten in de lucht, b. v. uranas plumbi, uranas barytae, vooral uranas ferri, alle door waterstof herleid. (ARFVEDSON in *Pogg. Ann.* Bd. 1, S. 258 en 267, 1824.)

Naar MAGNUS (*Poggend. Annalen, Bd.* 5 *S.* 81, 1825.) wordt zuiver kobaltpoeder, uit het oxyde door hydrogenium bij roodgloeihitte herleid, niet in de lucht onder gloeijen geoxydeerd, wel, wanneer dit poeder aluinaarde inhield. Hij sloeg eene oplossing van kobalt en aluin met koolzure potassa neder en herleidde dit bij de roodgloeihitte met hydrogenium. Het overblijvende was pyrophorisch. Voor ijzer en nickel vond hij hetzelfde.

Maar hij vond, dat deze drie fijn verdeelde metalen, geheel en al zuiver en vrij van aluinaarde, mits *onder* de roodgloeihitte, insgelijks pyrophorisch zijn.

Derhalve weêrhoudt de aluinaarde de metaaldeeltjes bij de roodgloeihitte, om meer of min zamengesmolten te worden, waardoor het vermogen om te ontbranden kan verloren gaan.

Voor reductie van ijzer-oxyde door hydrogenium tot ijzer, vond MAGNUS eene temperatuur van kokend kwik voldoende. Oxalzuur ijzer-oxyde, zacht verhit, geeft insgelijks een goeden pyrophoor.

STROMEYER heeft in *Pogg. Ann. Bd.* 6 *S.* 471 trachten te beweren, dat de herleiding van ijzer-oxyde niet geheel tot metaal, maar voor een deel tot oxydule opklimt; maar MAGNUS heeft dit (l. l. S. 529.) teregt wederlegd.

Van die ligchamen zijn er nog vele anderen; de gegeven voorbeelden mogen voldoende zijn.

Eene oplossing van phosphorus in zwavelkoolstof, over een papier uitgebreid en aan de lucht blootgesteld, geraakt in vlam. Dit voorbeeld behoort tot het verschijnsel, overeenkomstig met dat der pyrophoren en der zeer fijn verdeelde metalen. De phosphorus vloeit fijn verdeeld over het papier; de zwavel-koolstof verdampt; zoo lang die verdamping duurt, is er geene ver-

branding; zij brengt integendeel koude voort. Maar zoodra is het papier niet droog geworden van zwavel-koolstof, of de fijn verdeelde en overal over het papier uitgebreide phosphorus, in denzelfden toestand verkeerende als het reeds genoemde fijn verdeelde ijzer, neemt zuurstof uit de lucht op, wordt daardoor verwarmd, en de phosphorus, die reeds bij 75° ontvlammen kan, geraakt in brand en met hem het papier.

Deze in de Scheikunde wel bekende voorbeelden van ontbranding kunnen met vele anderen vermeerderd worden; dit is echter hier onnoodig. De medegedeelden zijn voldoende, om den aard van deze soort van dusgenoemde zelfontbranding toe te lichten. Men kan haar dus omschrijven: voor oxydatie vatbare poreuse, of fijn verdeelde ligchamen, aan de lucht blootgesteld wordende, slorpen zuurstof op, in korten tijd en tot zulk eene hoeveelheid, dat er genoegzame warmte ontwikkeld wordt, om de zuurstof eene scheikundige verbinding met de vaste ligchamen te doen aangaan, welke dan, onder verspreiding van warmte en licht, dat is, onder de verschijnselen der verbranding, tot stand komt.

In zeker opzigt kan aan deze rij der dusgenoemde zelfontbrandings-verschijnselen gehecht worden, hetgeen de platina-spons oplevert, wanneer zij aan eenen stroom van zuurstof en waterstof, of van zuurstof met brandbare gassen gemengd, is blootgesteld. Ook de platina-spons verdigt die gassen, er ontstaat verhoogde temperatuur door die verdigting en daardoor verbinding der gassen tot een nieuw scheikundig ligchaam.

Intusschen werkt het platina hierbij nog op eigenaardige wijze; want, hoezeer veel langzamer en zonder verschijnselen van verbranding: een plaatje platina brengt hetzelfde voort. — Men heeft die verschijnselen met den naam van *Catalytische* aangeduid, omdat de vaste ligchamen — of welke stoffen dan ook, waarvan de werking uitgaat, hier b. v. platina-spons — wel de werking opwekken, maar overigens in den kring der werking niet opgenomen worden kunnen.

Hetgeen Döbereiner het eerst voor platina-spons gevonden had, namelijk, dat zij hydrogenium en oxygenium zamen verbinden kan, is later door Thénard en Dulong voor andere poreuse en ook hoekige en scherpe ligchamen bevestigd. Zij vonden, dat palladium, rhodium en iridium zich bijna als platina verhielden en dat hunne oxyden almede dezelfde werking vertoonden, maar daarbij tevens herleid werden. Osmium, goud, zilver, nickel, behoefden daartoe — naar verschillende toestanden, waarin zij verkeeren — eene

meer of min verhoogde, hoezeer dan ook niet hooge temperatuur. Ook houtskool, puimsteen, bergkristal, glas, porselein bragten het verschijnsel voort onder 350° C, maar zonder daarbij zelf gloeijend te worden of het gas te doen vlam vatten, mits zij poedervormig waren en een scherp poeder opleverden.

Naar de proeven van Döbereiner worden 728 maten hydrogenium in eene maat platina-spons verdigt, terwijl van zuurstof 200 à 250 maten daarin verdigt worden, met eene kracht van 800 tot 1000 atmospheren. (zie *Pog. Ann. Bd* 17 *S* 106, *Bd* 31 *S* 512.)

Dit vermogen van platina-spons moge in dit metaal voor een deel van eigendommelijken aard zijn, zoo als de plaatjes platina leeren: voor een ander deel behoort het in platina-spons aan de poreuse natuur van dit ligchaam; want in *alle* poreuse stoffen vinden wij het in meerdere of mindere mate, maar toch vooral in kool, eene stoffe, waarbij wij zeer bepaald moeten stilstaan.

Ten aanzien van het zelfontbrandbaar vermogen van houtskool, zwartsel of soortgelijke stoffen, verdient het volgende vooreerst eene nadere vermelding: Alle poreuse ligchamen nemen, naar uitvoerige proeven van Fontana, van Noorden en Rouppe, en Morozzo (Morozzo in *Journ. de Phys.* 1783, *Gilb. Ann.* 1804, *Bd* 17 *S* 259 — v. Noorden en Rouppe in *Scherer's Journ. Bd* 3 *S* 300) in meerdere of mindere mate gassen op, dampen, vlugtige deelen, van vaste stoffen afkomstig. De Saussure vooral heeft dit uitvoerig onderzocht. Dampdeelen van muskus, kamfer en andere reukgevende stoffen, blijven lang hangen in wollen kleederen, en wel des te langer, naarmate zij donkerder van kleur zijn. Hoe poreuser de stoffen zijn, des te sterker is de opneming van gassen of dampen. Poreuse, versch uitgegloeide houtskool, of versch bereid zwartsel, heeft deze eigenschap in eene hooge mate. Houtskool van beukenhout kan zelfs 90 m. ammoniak-gas, 85 m. chlorwaterstof-gas, 65 m. zwaveligzuur-gas; 35 m. koolzuur-gas; 9,25 m. zuurstof-gas; 7,5 m. stikstofgas opslorpen, indien zij, versch uitgegloeid in deze gassen gebragt wordt. (De Saussure). De opslorping van zuurstof-gas duurt veel langer dan bij andere gassen en gaat gepaard met vorming van koolzuur. En van dampkringslucht kan zij, versch uitgegloeid, zoo veel opnemen, dat haar gewigt om 10—20 p. c. vermeerderd wordt. Bedenkt men nu, dat daaronder zeker stikstof en waterdamp zijn, maar dat eene groote hoeveelheid der verdigte stoffen zuurstof is, dat dit gas in korten tijd in zeer gecondenseerden toestand in de zeer brandbare kool wordt opgenomen; dat bij alle verdigting van gassen warmte vrij wordt; dat hier die verdigting zeer sterk is; dan kan het geene bevreemding

wekken, dat versch uitgegloeide houtskool of zwartsel zoogenaamde zelfontbranding kunnen ondergaan.

Inderdaad is dit verschijnsel daarvan menigvuldige malen waargenomen. De ontbranding geschiedt altoos op eene enkele plaats, maar het geheel, doortrokken met verdigte zuurstof, is bij uitnemenheid brandbaar en ontbrandt in korten tijd in massa.

Het verschijnsel van verdigting van gassen vertoonen de poreuse ligchamen alle in meerdere of mindere mate. Zoo vond DE SAUSSURE, dat zij plaats heeft n meerschuim, kleefschilfer van Menil-Montant, asbest, zijden, wollen weefsels, hout; maar ook gladde ligchamen doen dit, zonder evenwel daardoor alleen ooit zelfontbranding te kunnen doen ontstaan. Van de verdigting op glasstaafjes heeft MAGNUS (*Poggend. Ann.* 1853, *N*°. 8 *S.* 604); van zand, poeder van glas, metaal-vijlsel, hebben JAMIN en BERTRAND (*Phil. Mag. Aug.* 1853, *p.* 156) beslissende onderzoekingen medegedeeld. Worden nu reeds gassen op de oppervlakte van gladde ligchamen verdigt, zoo veel te meer moet dit plaats hebben bij ligchamen van poreusen aard — waar de oppervlakte zoo veel grooter is, waar verschillende oppervlakten zich, door nabij elkander gelegen te zijn, ondersteunen. En zijn die poreuse ligchamen brandbaar en is het verdigte gas zulk een, dat de verbranding voeden kan, dan zijn alle voorwaarden daar tot zelfontbranding, door de warmte aangezet, welke bij de verdigting van het gas vrij wordt.

MAGNUS vond, dat platina-spons van zwaveligzuur slechts $\frac{1}{3}$ van zijn volumen verdigt; terwijl DE SAUSSURE gevonden heeft, dat houtskool van dit gas 65 maal haar volumen verdigt; eene hoeveelheid, die MAGNUS niet overdreven vond. In kool huisvest dit vermogen derhalve in hooge mate.

Het vermogen van houtskoolpoeder, om van zelf te ontvlammen, is in 1802 in de buskruid-fabriek te Essonne in het groot gezien (*Journ. de Phys.* 1807 *p.* 423. *Ann. de Chimie T.* 53 *p.* 95). Wij zijn aan AUBERT (*Ann. de Ch. et de Phys. Tom* 45 *p.* 73) daarover gewigtige onderzoekingen verschuldigd. De zelfontbranding van houtskool in buskruid-fabrieken was reeds vroeger waargenomen op het oogenblik, dat men de kool begon fijn te malen; maar ook in het poeder, dat reeds eenigen tijd bereid is, ontstaat zij, zoo als in de reeds aangehaalde zelfontbranding in 1802 te Essonne, in 1824 te Bouchet, in 1825 te Esquerdes, in 1828 te Mets. In deze laatste plaats ontbrandde er 80 kl. poeder van houtskool in de buskruid-fabriek van zelf, den 5den April, terwijl het poeder den 31sten Maart bereid was. De kool was op dezelfde wijze bereid, welke men

in de fabriek steeds gevolgd had, zonder zelfontbranding te zien ontstaan. En, wat opmerkelijk is, bij herhaling met poeder derzelfde kool, had hetzelfde plaats, na 24 uren. — Aubert bekwam hieruit aanleiding tot nadere proeven, vooral ook in verband met de wijze van het buskruid fijn te maken. Zijne uitkomsten waren de volgende:

Met bronsen kogels fijn gemaakte kool wordt zeer fijn verdeeld en neemt eene driemaal geringere ruimte in, dan in stukjes van 15 à 16 cent. lengte. Zoo fijn verdeeld, slorpt zij zeer veel lucht op gedurende eenige dagen en verwarmt zich daardoor tot eene temperatuur van 170° à 180° C. Deze opslorping is de oorzaak der ontbranding.

De ontbranding begint in het midden, 12 à 15 centimeters onder de oppervlakte, waar steeds de hoogste temperatuur gevonden wordt, hetgeen dus kan verklaard worden, dat de buitenste laag door afstralende warmte steeds wordt afgekoeld. Aubert schijnt dit anders op te vatten. Gewigtig is echter zijne opmerking, dat het meer naar onderen gelegen deel der kool niet verbrandt, en er slechts een gedeelte in de verbranding wordt begrepen. Die opmerking bevestigt geheel onze voorstelling, welke hierop neder komt:

De lucht verdigt zich in de kool, op de plaats, waar die met de lucht in aanraking is; in eene ton geplaatst, alzoo van boven af aan, langzaam naar beneden toe. Daardoor wordt warmte vrij, maar de buitenste lagen verliezen van deze warmte door afstraling; zij kunnen daarom niet in brand geraken; maar hetgeen onder die buitenste lagen gelegen is — zoo als de proef leert, tot eene diepte van 12 à 15 centimeters — heeft die afkoeling niet ondergaan, is door de bovenliggende laag beschut geworden tegen die afstraling. Er is echter nog lucht genoeg doorgedrongen, zuurstof genoeg opgenomen, en de hoogste temperatuur ontwikkelt zich er; daar ontstaat de verbranding. Maar daaronder is minder, nog lager is geen zuurstof opgenomen door de kool; daar kan dus ook geene ontbranding ontstaan of voortgaan; de gloeijende laag beschut al wat daaronder ligt.

Deze verklaring komt ons voor, volkomen rekenschap af te leggen van de feiten, door Aubert aangevoerd.

Aubert vond voorts niet, dat de vochtigheid der lucht of de temperatuur op de zelfontbranding invloed hadden;

Hij vond dat hard uitgegloeide kool meer het vermogen van zelfontbranding had, dan minder hard gegloeide, derhalve hoe poreuser, hoe meer ontbrandbaar.

Zwarte, hard uitgegloeide kool moet, om het verschijnsel te vertoonen, tot

eene hoeveelheid van 30 kl. zamen zijn; bij minder hard gegloeide koolpoeder-soorten moet daartoe eene grootere hoeveelheid voorhanden wezen.

Des te zekerder en sneller zal de zelfontbranding ontstaan, naarmate er minder tijd verloopt, tusschen het branden van de kool en het fijnmaken.

Niet slechts wordt er dampkringslucht gevorderd voor de zelfontbranding van kool, maar de lucht moet ook vrijen toegang hebben; met de lucht wordt ook waterdamp uit de lucht opgenomen.

Onder het fijnwrijven van kool wordt de lucht niet veranderd.

Zwavel en salpeter verminderen het vermogen van kool, om lucht op te nemen tot ontbranding; toch wordt er lucht door gecondenseerd en warmte hierbij vrij gemaakt. Daarom raadt hij aan, niet te veel versch bereid mengsel van dien aard bij elkander te bewaren, na de menging.

Uit de proeven van Aubert vloeit dit belangrijke resultaat voort, dat zeer fijne verdeeling en groote hoeveelheden koolpoeder twee voorwaarden zijn ter zelfontbranding.

Beide punten vloeijen ook voort uit onderzoekingen van Hadfield (Phil. Mag. Tom 15 p. 1), die gevonden heeft, dat kleine hoeveelheden zelfs van zeer fijn kolenpoeder, om van zelf te ontvlammen de temperatuur van kokend water behoeven. Ook hij vond, dat in groote massa's poeder van kool, de ontbranding op eenigen afstand onder de oppervlakte aanving.

Behalve de proeven van Aubert en Hadfield zijn er bovendien op last der Pruissische Regering andere onderzoekingen daarover in het werk gesteld, te vinden in *Journ. für Pr. Chemie van* Erdmann en Schweigger-Seidel, 1836, Bd. 9 S 101. Wij gaan echter deze meerendeels met stilzwijgen voorbij, hoezeer zij menige bijzondere omstandigheid, die op het al of niet te voorschijn brengen van zelfontbranding in koolpoeder van invloed zijn, nader doen kennen. In de hoofdzaak komen de uitkomsten met die van Aubert overeen; vooral ook in de aanwijzing der plaats, waar de meeste warmte ontwikkeld wordt. In de Pruissische proeven was dit 5 duim onder de oppervlakte en in het midden onder die oppervlakte. Naar onderen en naar de randen van het vat, waarin het koolpoeder bevat was, nam de temperatuur steeds af. De ontbranding geschiedde dus ook hier op eene plaats, waar de lucht kon toetreden, maar waar de uitstraling der warmte door boven geplaatste lagen belemmerd was. Hier ontstaan, werd zij noodwendig naar de oppervlakte overgedragen en in zijdelingsche rigting verspreid.

Van deze uitkomsten willen wij er eene mededeelen, waaruit het blijken kan,

dat de verhitting des koolpoeders gelijken tred houdt met de vermeerdering in gewigt, alzoo met het klimmen der hoeveelheid gecondenseerd gas. — 36 uren na de verkoling van hout, werd de kool fijn gemalen, en 100 pond van het poeder gedaan in een open ijzeren vat, op eene balans met tegenwigt in evenwigt geplaatst.

Een thermometer was 8″ diep onder de oppervlakte in het midden der massa geplaatst. De proef werd den 23 Sept. genomen. De lucht temp. was 12° Reaum:

Na uren.	*Temp. der kolen* Reaum.	*Gewigts-vermeerdering in looden.*
0	14	—
1	23	—
2	26	—
3	31	2,5.
4	33	—
5	35	—
6	37	4,75.
7	39	—
8	43	6,75.
9	45	7,75.
10	47	9.
11	49	10.
12	51	11.
13	54	—
14	56	—
15	58	13.
16	60	—
18	62	—
21	64	16.
22	66	23.
24	79	25.
26	82	—
28	90	27.
30	107	28.
31	127	—
33	141	30,5.
36	Ontbranding.	

De vermeerdering in gewigt, ten gevolge van de verdigte lucht, bedroeg derhalve ongeveer 1 p.c.

Deze proef in het groot, overeenstemmende met andere proeven, in hetzelfde verslag voorkomende, laat geen twijfel meer over omtrent den waren aard der zelfontbranding in koolpoeder; zij is het gevolg van verdigte lucht, vooral van verdigte zuurstof.

Ook in deze proeven werd verscheidenheid opgemerkt, die men niet verklaren kon; daar soms van twee even groote hoeveelheden van dezelfde massa koolpoeder, op dezelfde wijze bewaard en ter zelfder tijd naast elkander geplaatst, de eene ontbrandde, de andere niet.

Hadfield kon met hoeveelheden van 120 pond, zelfs bij versch bereide kolen, geene ontbranding voortbrengen. Maar bij hoeveelheden van 1000 tot 6000 pond zag hij dan nog ontbranding ontstaan, wanneer de kolen 10—12 dagen, vóór het tot poeder brengen, aan de lucht gelegen hadden.

Maar daarentegen berigt Hadfield, dat stukken houtskool, 5 dagen oud, en 16 Engelsche mijlen ver in eenen wagen voortgereden, ontbrandden, zoo men meende door het fijnwrijven der stukken onder het rijden.

Alle onderzoekers betreffende deze aangelegenheid zijn tot de uitkomst geraakt, dat stukken houtskool niet van zelve in brand kunnen gaan.

Eén soortgelijk vermogen als houtskool, bezitten, hoezeer in veel geringer mate, gerooste organische voorwerpen. Georgi heeft met vele plantaardige gerooste stoffen proeven genomen, als: meel, rijst, erwten, boonen, koffij, houtzaagsel. Hij vond, dat wanneer zij geroost werden en warm in linnen werden gedaan, zij vroeger of later van zelve in brand konden geraken. (Zie Crell's Annalen, Bd. 1 S. 411 en 485.)

Het eerst is dit door Rude bespeurd, in bruin geroost roggedeeg, en in Berlijn ontstond in 1794 brand in Cichoreiwortels, die geroost waren. Naar Georgi werd geroost roggemeel gemakkelijker tot zelfontbranding gebragt, dan gerooste roggezemelen. In 1764 en 1811 ontstond in Koningsbergen zelfontbranding in groote hoeveelheden gebrande granen. (*Gilb. Ann. Bd* 65 *S.* 443—444.)

Uit proeven van Georgi en ook van Sommer is dus gebleken, dat geroost of gebrand meel voor zelfontbranding zeer vatbaar is. Zij schrijven dit ten onregte toe aan de ontwikkeling van eene *vette* olie, door het roosten gevormd. De oorzaak is zeker niet eenledig. Vooreerst worden deze voorwerpen door het roosten zeer droog en van water bevrijd, en daardoor brandbaarder; maar

voorts worden zij meer of min verkoold, poreus, en kunnen zij zuurstof der lucht verdigten. Voorts worden er zuurstof-armere producten gemaakt van vlugtigen aard — stoffen uit de groote reeks der brandige vlugtige producten — welke in aanraking met zich in de verkoolde stoffe verdigtend en daarbij warmte ontwikkelend oxygenium, tot zelfontvlamming worden in staat gesteld.

Van zeer groot gewigt is de zelfontbranding, die vette ligchamen ondergaan kunnen; wij willen, ten einde deze in het licht te stellen, de vette eerst beschouwen ten aanzien van hun vermogen, om gassen te verdigten.

De vette ligchamen kunnen, ten opzigte der hoedanigheid, om zuurstof op te nemen, in twee groote klassen gesplitst worden. Nemen wij ten voorbeelde de vette oliën. Men onderscheidt deze in *droogende* en *niet-droogende*. Van de eerste maakt men verwen en vernissen; van de laatste niet. De eerste droogen niet aan de lucht, dat is verliezen geen water; maar zij worden toch vast, eerst met eene huid bedekt, en later wordt de geheele massa taai en eindelijk hard. De laatste worden aan de lucht zuur; men noemt dit rans worden.

Tot de droogende oliën behooren: lijnolie, hennepolie, notenolie, papaverolie, ricinusolie, olie van belladonna-zaden, van crotonzaden, van tabakzaden, van de zaden van Pinus abies, sylvestris, picea, van de zaden van den druif, van zonnebloemen.

Tot de niet-droogende: boomolie, amandelolie, raapolie, beuknotenolie, koolzaadolie, hazelnotenolie, olie van pruimenpitten, mosterdolie.

Beide deze soorten nemen zuurstof uit de lucht op, maar de niet-droogende op andere wijze dan de droogende. De niet-droogende in den regel voortdurend en langzaam; de droogende soms in langen tijd weinig of niets, dan eensklaps veel en worden daarbij dan vast. Hierbij worden koolzuur en waterstof uitgedreven en de temperatuur verhoogd.

De Saussure heeft vooral dit verschijnsel bestudeerd. De niet-droogende volgende oliën namen in twee maanden dagelijks in volumina aan zuurstof op: amandel olie $\frac{1}{2}$ volumen, boomolie $\frac{1}{2}$ volumen; terwijl de droogende opnamen: in eene maand hennepolie 3 maal haar volumen, en in eene week notenolie 8 maal haar volumen.

Hij vond dat deze opslorping zoo wel bij 10° C als bij 20° C bestond, en derhalve niet geheel van de temperatuur afhankelijk was. Maar opmerkelijker is de waarneming, dat deze opslorping van zuurstof eenige maanden zeer traag kan voortgaan en dan eensklaps kan klimmen. Eene laag notenolie had hij 8 maanden boven kwik met zuurstof in aanraking gelaten; gedurende dien tijd

had zij 3 maal haar volumen zuurstof opgenomen. Toen ving eene veel snellere opslorping aan, zoodat zij in 10 dagen 60 maal haar volumen opslorpte; dit laatste had plaats in de maand Augustus. De warmte had alzoo daarop invloed; maar vooraf scheen de olie door langzame opslorping tot die snellere, door de warmte ondersteund, voorbereid te moeten worden. De olie had hierbij 22 volumina koolzuur afgegeven; op papier gaf zij geene vetvlakken meer, maar was dik geworden.

Dit vond hij niet alleen voor notenolie, maar ook voor andere. In het eerst geschiedt de opslorping langzaam, gedurende 5 tot 7 maanden; dan neemt zij eensklaps snel toe en ontwikkelt dan die warmte, welke haar soms doet vlam vatten.

De droogende oliën mogen in dit uitwerksel van de niet-droogende eenigzins onderscheiden zijn: beide geven zij als einduitkomst hetzelfde; b. v. in 4 jaren namen aan zuurstof op voor één volumen olie:

Boomolie,	niet-droogend	 102	vol.
Amandelolie,	» »	 115	»
Hennepolie,	droogend	 167	»
Notenolie,	»	in 11 maanden 155	»

Wordt lijnolie gekookt, zoo neemt zij daarna veel sneller zuurstof op; van daar dat gekookte lijnolie zooveel sneller vast wordt, dan ongekookte. In dezelfde mate is zij voor zelfontvlamming meer vatbaar.

Wat wij van de oliën van vetten aard gezien hebben, geldt ook van de vaste vetten, als boter, reuzel, schapenvet, cacaoboter en alle anderen; zij nemen ook zuurstof op, en kunnen rans of zoogenaamd droog worden. Maar daar zij vast zijn, bieden zij slechts dezelfde deelen aan de lucht aan, en de opslorping van zuurstof is daarom bij deze soms onmerkbaar in een lang tijdsverloop. Daarom kunnen zij niet in massa van zelve ontbranden. — Maar worden zij gesmolten of in andere stoffen opgenomen, b. v. in vlugtige oliën, en over eene groote oppervlakte verdeeld, zoo kunnen zij zich verhouden als vette oliën, slorpen snel zuurstof op, en kunnen dan, bij hoogere luchttemperatuur inderdaad zelve ontbranden. Zoo staan er voorbeelden opgeteekend van zelfontbranding van gewaste taf.

Traan en andere gemengde vetten verhouden zich als vette oliën, en kunnen zelfontbranding doen ontstaan.

Op dezelfde rij behooren ook vele vlugtige oliën geplaatst te worden, oliën

die reuk verspreiden en in het algemeen door destillatie verkregen worden. Zij worden, wanneer zij aan de lucht blootgesteld worden, onder anderen in harsen veranderd en daardoor dikker. De Venetiaansche terpentijn is alzoo uit terpentijnolie in de plant geworden, en terpentijnolie levert na eenigen tijd aan de lucht blootgesteld geweest te zijn, terpentijnhars. Naar DE SAUSSURE, die ook deze vlugtige oliën daarin onderzocht heeft, neemt lavendelolie in 4 winter-maanden bij 12° C 52 maal haar volumen zuurstof op en geeft 2 vol. koolzuur van zich. Ook hier is eene klimming in het opslorpend vermogen, in verhouding tot den tijd, even als bij de vette oliën. Bij lavendelolie duurde het eene week eer het maximum bereikt was; bij citroenolie eene maand, en duurde 26 dagen voort; bij terpentijnolie 5 maanden, en duurde dan eene maand voort.

Hij teekent de volgende uitkomsten der hoeveelheden opgeslorpte zuurstof, voor éene maat olie, in de volgende tijden op:

Lavendelolie	2 jaar	10 maand.	119 vol.
Citroenolie	3 »	6 »	143 »
Terpentijnolie . . .	3 »	6 »	128 »
Peterolie (steenolie)	6 »	»	1 »

De peterolie derhalve zeer weinig, maar de anderen zooveel als sommige vette oliën doen. Deze vlugtige oliën zijn derhalve in zekere mate even zeer te schuwen als de zelfontbrandbare vette oliën; hoezeer erkend moet worden, dat er veel minder gevallen staan opgeteekend van zelfontbranding door vlugtige, dan door vette oliën veroorzaakt.

Het kan bij het groote vermogen van vette oliën, om zuurstof optenemen, alzoo niet verwonderen, dat zij, zoo niet op zich zelve, dan toch onder bepaalde toestanden zelfontbranding kunnen voortbrengen.

De ervaring heeft dit in elk opzigt toegelicht.

In de eerste plaats moet hier de zelfontbranding onderscheiden worden, die meermalen is waargenomen in poreuse voorwerpen, welke met vetten doordrongen zijn: linnen, katoen, wollen stoffen, in welken vorm ook, met oliën doortrokken, die eensklaps vlam vatten en verbranden. Die ontvlamming berust dan op het vermogen der vette oliën, om in korten tijd eene ruime hoeveelheid zuurstof op te nemen.

Bij die opslorping kan zelden, misschien nimmer, zulk eene temperatuurverhooging ontstaan, dat de vetten in massa zouden kunnen vlam vatten, dat

is met de zuurstof in scheikundige verbinding kunnen treden, onder verspreiding van warmte en licht. Maar zijn die vette oliën in een poreus weefsel opgenomen, hetgeen zelf zuurstof verdigten kan, hetwelk aan de olie eene veel grootere oppervlakte van aanraking met de lucht aanbiedt, dan kan, in eenen gegeven tijd, de opslorping van zuurstof veel sterker zijn, en zulk eenen graad bereiken, dat de temperatuur hoog genoeg wordt, om olie en weefsel te doen vlam vatten. De Saussure en anderen hebben dit verschijnsel volkomen toegelicht; het is een geval van oxydatie van bewerktuigde stoffen, in elk opzigt gelijk staande met de voorbeelden der onbewerktuigde pyrophoren, waarvan boven gesproken is. Condensatie en daarna scheikundige verbinding van de zuurstof der lucht met het ligchaam of de ligchamen, en daarbij verspreiding van warmte en licht, verbranding, juist als bij het fijn verdeelde ijzer, of den aluin-pyrophoor.

Ten gevolge van deze verdigting en verbinding van de zuurstof der lucht met geweefde, of in elk geval organische vezelstoffen, in den vorm van garen, of in elk anderen, maar met eene zich oxyderende vette stoffe bedeeld, is menig onheil ontstaan, menige fabriek in de asch gelegd; menigmaal zelfs ter plaatse, waar het verschijnsel bekend behoorde te wezen, onverwachts onheil ontstaan. En mogen de boven vermelde voorbeelden der besproken pyrophoren van meer scheikundigen aard schijnen, inderdaad minder in het gewone leven worden waargenomen: het laatstgemelde verdient even als dat van koolpoeder alle overweging, want het komt in het gewone leven veelvuldig voor.

Het zou gemakkelijk genoeg wezen, eene menigte voorbeelden aan te halen van verbrande schepen en magazijnen en gebouwen, waarvan men den brand aan zelfontbranding heeft toegeschreven van vette stoffen; maar zij passen in ons onderzoek niet, omdat van de meesten de oorzaak der ontbranding niet met die zekerheid is uitgemaakt, welke gevorderd wordt. Men kan er onderscheidene aangehaald vinden in Gehler's Phys. Wört. Bd. 10, Abt. 1, S. 250 en bij Thijssen Nat. Bijdr. I. 1, p. 253.

Maar alle waarde moeten wij hechten aan opzettelijk daarover genomene proeven van deskundigen, proeven die juist naar aanleiding van verdachte zelfontbranding, waardoor in het laatst der vorige eeuw Petersburg onder anderen geteisterd werd, genomen werden door Czernischef, Georgi, Sommer en anderen.

De eerste zag 40 pd. zwartsel, waarmede een uur lang 35 pd. hennepolieverf in aanraking was geweest en na het afgieten van deze verf in eene hang-

mat werd gedaan, na 19 uren in brand geraken. GEORGI vond, dat zwartsel of houtskool, zelfs grovere stukken, 5 uren met droogende vette oliën in aanraking gelaten en dan in linnen gewikkeld, bij droog weder binnen 16 uren altoos in brand geraken. Bij nat weder zag hij de reeds ontwikkelde warmte weder afnemen. Hennepolie op hennep, wol, een oud wollen kleed, koehaar gedaan, en zamen gedroogd, ontvlamde na eenige uren.

In al deze gevallen is het de olie, die ontbrandt; het weefsel, waarin de olie is opgenomen, dient vooral, om de olie met de lucht meer aanraking te geven. Zoodoende kunnen dan ook, zoo als gebleken is, onverbrandbare stoffen, b. v. de poreuse magnesia-ertsen en anderen met oliën doortrokken, zelve ontbranden, dat is de olie doen vlam vatten, door de oppervlakte, met welke de olie aan de lucht blootgesteld is, te vergrooten. Met welk regt men den brand van het Pantheon in Oxfordstreet aan de zelfontbranding van eene witte verf van de magnesia-erts «*black wad of Derbyshire*" bereid, mag toeschrijven, laten wij wederom in het midden, even als de branden in Petersburg, Cronstadt, Koningsbergen, Lyon en andere plaatsen, waarvan de juistheid der berigten falen kan. Wij behoeven echter geene, welligt twijfelachtige feiten, waar opzettelijke proeven alles hebben beslist.

Onder de feiten, die de zekerheid van proeven hebben verkregen, vinden wij er een opgeteekend bij WOODMAN (BÜCHNER's *Repertorium Bd.* 41, *S.* 450), dat lijnolie in geweefde wollen stoffen doorgedrongen, in 5 uren tijds in brand geraakte. Eene verf van zwartsel met olie, in eene hangmat ingewikkeld, deed een fregat in brand geraken (*Journ. de Phys. Tom.* 20, p. 5.); een andere brand ontstond op dezelfde wijze in een schip in het arsenaal van Brest (*Mém. de l'Académie* 1760).

In het jaar 1811 werd er in Pruissen menigvuldig brand waargenomen, welken men aan de bijzondere hitte van dat jaar toeschreef. SOMMER hierdoor, vooral door eenen grooten brand in een oliemagazijn in Koningsbergen, in dat jaar voorgevallen, opgewekt, stelde eenige proeven in het werk, aangaande den invloed eener betrekkelijke lagere temperatuur op de ontbranding van eenige vetten (*Gilb. Annalen Bd.* 65 *S.* 426. 1819).

Hij doortrok linnen met olie, wikkelde het zamen, omwond het met flanel en lag het in de zon bij 40°. Het werd warm, maar kwam niet tot zelfontbranding, hoezeer de massa inwendig als in humus veranderd was. Eenige ellen linnen, met lijnolie doortrokken, werden over een dak in de zon uitgespreid, daarna in flanel met stroo gewikkeld, zoo dat alles zamen een pak

vormde van 12 duim lang en 10 duim dik. Dit werd nu in eenen ketel gepakt en gesteld in een vertrek van 20°. Na drie uren begon er zich reeds een brandige reuk te ontwikkelen, die steeds toenam en den volgenden dag zeer sterk was. Bij het openen van den ketel ontvlamde het geheel.

Soortgelijke proeven hadden dezelfde gevolgen, hoezeer niet altijd. Zij leverden allen deze uitkomst, dat met lijnolie doortrokken voorwerpen, na eerst aan eene hoogere zonnewarmte blootgesteld te zijn geweest, daarna in eene veel lagere temperatuur geplaatst zijnde, *binnen weinige uren* in brand geraakten, maar in gesloten vaten slechts tot smeuling kwamen, die zich door brandigen reuk openbaarde.

Zaagsel, houtspaanders, stroo, werk, bastmatten en andere voorwerpen verhielden zich op dezelfde wijze, mits met lijnolie bedeeld.

Sommer schijnt, even als zijne voorgangers, te veel gehecht te hebben, aan opsluiting der voorwerpen tot een pak, aan zamen-vouwing en oprolling, om daardoor eene soort van broeijing te veroorzaken. Het is zoo: bij zamenpakking is de afstralende warmte minder, en de verheffing der temperatuur door de opgeslorpte zuurstof grooter, terwijl de opgeslorpte zuurstof, ook in het midden van het pak opgenomen, een luchtledig vormende, weldra door nieuwe lucht kan worden aangevuld. Maar in geen geval mag hier aan broeijing gedacht worden, zoo als bij hooi; niet aan scheikundige werking, ten gevolge van omzetting van bewerktuigde stoffen, waardoor het eigentlijke broeijen tot stand komt.

Hoezeer eenvoudig, is toch de opmerking van Sommer gewigtig, dat de zonnewarmte daardoor zelfontbranding in overigens niet zelfontbrandbare stoffen kan voortbrengen, wanneer zij namelijk met *vaste* vetten doordrongen zijn. Onder de smelt-temperatuur kunnen deze zich slechts traag oxyderen en komen nooit tot zelfontbranding; boven de smelt-temperatuur — en velen smelten in de warmte der zonnestralen — verhouden zij zich als oliën en kunnen alzoo zelfontvlamming veroorzaken, indien zij in linnen, katoen enz., opgenomen zijn.

Aan de laatstgenoemde proeven sluit zich menig ander voorbeeld van ontvlamming van stoffen, die echter volkomen van denzelfden aard is; b. v. drukkers-inkt is bekend, in dunne lagen over poreuse voorwerpen uitgebreid zijnde, b. v. over papier, vlam te kunnen vatten. De werking is dezelfde, als bij het linnen, met olie meer of min doordrongen; er heeft door de kool en de olie der drukkers-inkt zamen, condensatie van de zuurstof der lucht plaats en

dien ten gevolge verhooging van temperatuur, die genoegzaam is, om scheikundige verbinding met verspreiding van warmte en licht, dat is verbranding te doen ontstaan.

Onder de proeven, waardoor de zelfontbrandbaarheid van oliën en kool bewezen en toegelicht werd, behooren die van ons geacht medelid GLAVIMANS (*Tijdschrift der Eerste Klasse van het Instituut*, 4de Deel, 1851, p. 192). De aanleiding tot deze proeven was de zelfontbranding, die nu en dan werd waargenomen van met zwartsel gemengde olie als verwstof toebereid.

De algemeene uitkomsten dier proeven deden den Heer GLAVIMANS besluiten:

1°. Dat olie en zwartsel zelfontbranding kunnen doen ontstaan.

2°. Bij het gebruik van gekookte lijnolie ontstaat zij meer dan van ongekookte.

3°. Bij geringere hoeveelheden olie en zwartsel ontstaat zij meer; zeildoek of andere stoffen zijn tot de ontbranding niet noodig.

4°. Dunne lagen van het mengsel geven echter veel meer aanleiding tot zelfontbranding.

5°. De verzending van zulke mengsels zal het best in gesloten ijzeren kisten geschieden.

6°. Men behoort zich bij de verzending van zwartsel voor de toetreding van olie te vrijwaren.

De Heer GLAVIMANS heeft twee proeven met ongekookte lijnolie in het werk gesteld, in beide 2,5 kil. zwartsel met 0,05 en 0,2 olie; in 6 dagen had er geene ontbranding plaats.

Gekookte lijnolie gaf ook niet altoos ontbranding. Wij geven in het kort een overzigt van deze uitkomsten.

2,5 kil. zwartsel met 12 kil. olie, geene ontbranding in bijna twee maanden (Januarij—Maart).

2,5 kil. zwartsel en 7 kil. olie, in denzelfden tijd geene ontbranding.

2,5 kil. zwartsel en 4 kil. olie, mede op denzelfden tijd, in Januarij, bij 50° F. gemengd, ontbranding na 22 uren.

2,5 kil. zwartsel en 1 kil. olie, op denzelfden datum gemengd, ontbranding na 14 uren.

2,5 kil. zwartsel en 5 kil. olie, in twee maanden geene ontbranding.

2,5 kil. zwartsel en 0,2 kil. olie, insgelijks 17 Januarij, bij 40° F. gemengd, na 7 uren ontbranding.

Met dezelfde hoeveelheden de proef herhaald 24 Januarij bij 45° F., geene ontbranding in 6 weken. Intusschen was er onderscheid in de zamenvoeging

der stoffen in de twee laatste proeven. In de voorlaatste was het zwartsel luchtig in een pot uitgestort, niet aangestampt, de olie in een dunnen straal daarover uitgegoten, niet omgeroerd. In de laatste proef schijnt de olie eerst in den pot gedaan te zijn en daarover het zwartsel te zijn uitgespreid (er staat «0,2 kil. olie" en voorts «het zwartsel luchtig in den pot gestort, *zon-* «*der bijvoeging van olie.*")

Eindelijk 2,5 kil. zwartsel en 0,05 olie; de olie was in dotten wit werk opgenomen, en deze waren onder het luchtig geplaatste zwartsel verborgen. Ontbranding na 5 uren.

Uit deze proeven blijkt genoegzaam, dat eene betrekkelijk kleinere hoeveelheid olie de zelfontbranding bevordert; bij eene grootere hoeveelheid olie en betrekkelijk minder zwartsel is het zwartsel te veel door olie doordrongen, om de condensatie van het gas te kunnen ondersteunen.

Bij eene zomertemperatuur zou echter de uitkomst geheel kunnen verschillen, zoo als uit hierboven medegedeelde proeven blijkt.

Het verdient hier overweging, dat van al de genoemde voorwerpen niet altijd, onder schijnbaar dezelfde omstandigheden, ontbranding wordt gezien. Somtijds mislukt de bereiding der pyrophoren, somtijds wordt het fijn verdeelde ijzer niet gloeijend, wanneer het met de lucht in aanraking komt, zeer dikwerf zijn met oliën doortrokken linnen of katoen niet zelfontbrandbaar.

Van een en ander is zeer wel rekenschap te geven. Wordt b. v. de aluinpyrophoor niet hard genoeg gegloeid, dan is er geen zwavel-potassium gemaakt, en zelfontbranding kan niet ontstaan, al wordt hij ook aan de lucht blootgesteld. Heeft men bij de herleiding van ijzer uit ijzeroxyde door waterstof, het ijzer te heet gemaakt, dan smelten de deeltjes meer of min zamen, het ijzer blijft niet poreus genoeg achter, om zuurstof te condenseren, en scheikundige verbinding kan dan niet eensklaps volgen, omdat er geene genoegzaam hooge temperatuur ontwikkeld wordt.

Is het ook even zoo mogelijk, rekenschap af te leggen van het dan eens vlam vatten van geölied katoen of linnen, dan eens niet? Voorzeker: indien men alles gevolgd had, wat met de stoffen in kwestie is ondernomen. Eene korte ontwikkeling hiervan is niet overbodig, juist om de practische waarde van het feit.

Het zijn vooreerst inzonderheid die vette ligchamen, welke vloeibaar zijn, die zelfontbranding voortbrengen kunnen; vaste vetten behoeven daartoe eene hoogere temperatuur, waarbij zij gesmolten kunnen blijven (zie bladz. 20).

Voorts hebben de droogende oliën een veel grooter vermogen, om in een zekeren korteren tijd zuurstof op te slorpen, dan de niet droogende (z. bladz. 19), en het verschijnsel der zelfontbranding hangt derhalve zamen met den aard der vette stoffe, waarmede linnen, katoen enz. doortrokken of bedeeld is.

Maar gesteld, linnen is met eene droogende olie doortrokken, dus met eene zich sterk oxyderende, maar voor dat het linnen daarmede doortrokken werd, was de olie in massa reeds lang genoeg aan de lucht blootgesteld geweest, om veel zuurstof op te nemen. Dan kan zij, na door het linnen opgenomen te zijn, zoo veel minder opslorpen, niet genoeg, om eene zoodanige temperatuur te ontwikkelen, waarbij ontvlamming der olie en van het linnen mogelijk wordt. Met andere woorden: de ouderdom der olie, maar ook, of zij meer of min vooraf met de lucht in aanraking is geweest, heeft een beslissenden invloed op het verschijnsel der zelfontbranding.

Doch, de olie is versch, alzoo geheel geschikt, om, over linnen uitgebreid, in korten tijd veel zuurstof te verdigten, en er ontstaat toch geene zelfontbranding. Onder anderen kunnen twee oorzaken dit belemmeren: afkoeling van het inderdaad warm wordende linnen, door koudere lucht, die het geheel omgeeft, of wel afkoeling door verdamping van water, in het niet geheel drooge linnen aanwezig. Inderdaad moeten deze oorzaken, vooral de eerste, als veelal belemmerende, het verschijnsel tegenstrevende, worden ingevoerd. Het is zoo, de olie verdigt zuurstof, wordt daardoor warm, maar de omgevende lucht koelt ook onmiddellijk weder af, soms meer dan de verwarming was, en ontvlamming is onmogelijk. Het is daaraan toe te schrijven, dat de zelfontvlamming van deze voorwerpen zoo spaarzaam geschiedt: de oxydatie der olie gaat voort, maar trager, zij wordt door afkoeling tegengestreefd, en er ontstaat geene ontbranding; even zoo als bij ijzer dat roest: het ijzer neemt zuurstof op, maar weinig in een korten tijd, het verbrandt niet, dat is, het geeft daarbij geene warmte en licht.

Maar, vraagt men: hoe kunnen zulke voorwerpen, b. v. linnen met eene oxyderende olie doordrongen, ooit later zelfontbranding ondergaan, dan gedurende hunne toebereiding? Dan is de olie verscher, dan later; dan komt zij in aanraking met een poreus weefsel; dan is dit aan de lucht blootgesteld; alle voorwaarden zijn daar van zelfontbranding, en zij geschiedt thans niet, maar later. Juist, dat de zelfontbranding eerst later geschiedt, bewijst, dat toen ook eerst alle voorwaarden daartoe aanwezig waren. Een voorbeeld kan het verduidelijken, b. v. bij de toebereiding van het met olie bedeelde linnen

was de luchttemperatuur laag; er behoort nu eene bepaalde temperatuur toe, om het verschijnsel te ondersteunen; die temperatuur zal na eenige dagen of weken ontstaan (zie bladz. 20), dan eerst ontstaat de zelfontbranding. Of wel: onmiddellijk na de toebereiding is het linnen opgevouwen en alzoo al het inwendig geplaatste grootendeels aan de lucht onttrokken, en de oxydatie der olie heeft langzaam of niet plaats. Men ontrolt na eenigen tijd het stuk, en stelt het aan de lucht bloot; de temperatuur van den dampkring is hoog, de condensatie der zuurstof door de olie gaat met snelheid voort en de zelfontbranding wordt mogelijk, weken of maanden na de toebereiding van het voorwerp.

Onder de minder gewone, maar in de scheikunde wel bekende voorwerpen, die na aanraking met lucht onmiddellijk ontbranden, behooren de zelfontvlambare phosphorwaterstof en anderen; maar wij achten het niet noodig meer voorbeelden aan te halen van zelfontbranding, die het gevolg is van onmiddellijke scheikundige verbinding van de zuurstof der lucht met ontvlambare of althans *verbrandbare stoffen.*

β. *Ligchamen, die ten gevolge van broeijen ontbranden.*

Eene geheel andere soort van zelfontbranding leveren die ligchamen op, welke in het gewone spraakgebruik heeten te broeijen, en dien ten gevolge soms vlam vatten. Voor de toepassing is het onderzoek naar den aard van dit verschijnsel niet minder gewigtig, dan van het voorgaande; het is er in menig opzigt geheel van onderscheiden. Namelijk, voor de *onderhouding* der verbranding is hier de zuurstof der lucht even onmisbaar als bij de gevallen hierboven besproken, maar de *aanvang* van de werking is een geheel andere dan condensatie van zuurstof, of onmiddelijke scheikundige verbinding van deze met het brandbare ligchaam.

Zeer gepast kunnen wij de gisting van suiker tot alcohol ten voorbeeld nemen in het aanwijzen der bijzonderheden, die in deze soort van zelfontbranding, althans bij het begin, onderscheiding verdienen.

Suiker, in water opgelost, met eenig gist gemengd en aan eene zekere temperatuur blootgesteid, wordt ontleed in alcohol en koolzuur. Daarbij wordt warmte ontwikkeld, zoo veel, dat het koolzuur als gas ontsnappen kan en de vloeistof zelfs nog verhooging van temperatuur teekent. Zou dat koolzuur niet gevormd zijn, ware er een ander ligchaam nevens alcohol geboren, — de temperatuurs-verhooging zou aanzienlijk zijn.

Beter nog is het volgende voorbeeld ter verduidelijking. Wanneer men zaden bevochtigt en aan eene zekere temperatuur blootstelt, ontkiemen zij; de bestanddeelen der zaden worden daarbij zeer veranderd, onder anderen het zetmeel in suiker omgezet, hetgeen het bereiden van mout in het groot leert. Is die ontkieming, of wil men, die scheikundige wisseling goed aan den gang, zoo wordt de temperatuur daarbij zeer verhoogd, ten gevolge dier scheikundige wisseling.

Dezelfde werking, die onbewerktuigde stoffen, zamen in aanraking, zeer dikwerf temperatuurs-verhooging doet ondergaan, doet deze ook in bewerktuigde stoffen ontstaan, en in het algemeen kan deze regel gelden: waar scheikundige wisseling van bestanddeelen plaats heeft, binding of ontbinding, daar komt warmte vrij, meerder of minder, soms, bij brandbare voorwerpen, tot ontbranding toe.

De werking, die plaats heeft bij broeijing van hooi en andere versche, meer of min gedroogde plantendeelen, sluit zich in den kring dier scheikundige werking, welke van het levend organisme onafscheidelijk is. De dierlijke warmte is de uitkomst deels der ademhaling, deels van het chemisme, hetwelk overigens in het geheele dierlijke ligchaam plaats heeft en in het plantenrijk evenzeer wordt waargenomen. Onder het ontkiemen van het zaad wordt de temperatuur verhoogd en houdt gelijken tred met de scheikundige verandering, die de bestanddeelen van het zaad daarbij ondergaan. Treffend blijkt dit ook bij het bloeijen van sommige planten. In den bloeitijd is het chemismus der plant op zijn toppunt, vooral in de tot bevruchtiging betrekking hebbende deelen. Bij sommigen wordt daarbij eene waarneembare warmte ontwikkeld, b. v. bij sommige Arum-soorten.

Volgens waarnemingen van de Saussure en anderen, in ons vaderland van onze geachte medeleden G. Vrolik en de Vriese, wordt hierbij eene aanzienlijke hoeveelheid zuurstof veranderd in koolzuur. In elk geval: scheikundige werking is eene bron van warmte-ontwikkeling, wisseling der bestanddeelen brengt warmte voort, en in zoo verre is het broeijen één met die werkingen van de levende plant, één met de warmte-ontwikkeling, die overal en altijd scheikundige wisseling schijnt te vergezellen.

Hetgeen in het gewone leven het *broeijen*, b. v. van hooi, genoemd wordt, is eene wel bekende scheikundige omzetting van bestanddeelen van het hooi in nieuwe ligchamen, eene werking als de gisting, eene werking die uitgaat van ligt ontleedbare ligchamen en op andere, daarmede in aanraking verkee-

rende, wordt overgeplant. Hooi, dat een weinig gebroeid heeft, heeft andere hoedanigheden verkregen, er is eene verandering voorgevallen in de bewerktuigde bestanddeelen; er zijn stoffen verdwenen en daarvoor andere in de plaats getreden, zoo als bij de gisting van suiker, die verdwijnt en in alcohol en koolzuur veranderd wordt.

Tot het broeijen van het hooi is het noodig, dat het hooi niet droog zij: water ondersteunt de wisseling der bestanddeelen hier, zoo als in het geheele organische rijk en in vele werkingen, die er tusschen ligchamen plaats hebben. Het hooi moet dus nat zijn, om krachtig te broeijen. Voorts moet er een weinig lucht toetreden tot de bestanddeelen van het broeijende hooi, een weinig zuurstof, om de gemakkelijk ontleedbare ligchamen van het hooi, die, waarvan, als bij de gist, de werking uitgaat, in staat van scheikundige omzetting te brengen, in werkzaamheid te stellen. Is dit eenmaal door eene zeer geringe hoeveelheid zuurstof geschied, zooveel als overvloedig tusschen zamengepakt hooi gevonden wordt, dan gaat de werking voort als de gisting van suiker, er ontstaat scheikundige wisseling van stoffen en daarbij wordt warmte ontwikkeld.

Aangaande de zelfontbranding, door broeijen veroorzaakt, valt vooreerst op te merken, dat allerlei voorwerpen van organischen aard, die nog omgezet kunnen worden, verhooging van temperatuur bekomen bij die omzetting. Duivenmest en paardenmest, onder de mestsoorten welligt het meest, zoodat die zelfs in brand kunnen geraken. Men noemt daarom dien mest heet, hoezeer hij dit vermogen verliest door verdeeling over het land. Hij bevat zeer veel ammoniak, en mag in dien zin heet genoemd worden voor de planten, niet door te broeijen.

Tot de voorwaarden van broeijing in dezen zin, behooren: eene zekere warmte, — elke gisting behoeft die, deze insgelijks; vocht, — hetzij in de lucht, hetzij in de voorwerpen zelve voorhanden; voorts rust der voorwerpen en zamenpakking, het liefst in groote hoeveelheid.

Onder deze omstandigheden broeijen zeer vele plantendeelen, die bij het ontbreken van eene dier omstandigheden tot geene broeijing geraken. De warmte is noodig voor het opwekken der scheikundige werkzaamheid; maar eene hoogere temperatuur dan de gemiddelde des dampkrings in deze streken, is er niet voor noodig. Het vocht, het water dient, om aan de in wisseling verkeerende deelen beweging aan te bieden; zamenpakking bevordert het bewaren der eenmaal ontwikkelde warmte, en rust is noodig, om de werking ongestoord te doen voortgaan.

Katoen, hetwelk in droogen staat niet het allerminste broeit, geraakte den 30sten November 1810 in massa in brand, terwijl het in geheel van water doordrongen balen in een magazijn te Marseille bewaard werd. (*Gilb. Ann. Bd.* 63, *S.* 444.)

Dat die warmte zoo hoog kan stijgen in het midden van hooibergen, waar eene dikke laag de afkoeling door de lucht van alle kanten belemmert, dat een ingebragt ijzer zeer heet wordt, is bekend; het wordt als proefmiddel gebezigd; ja de temperatuur van broeijend hooi kan stijgen tot die, waarbij het, onder ontwikkeling van warmte en licht, met de zuurstof der lucht verbonden wordt, dat is, waarbij het verbrandt. Het geheele verschijnsel berust in den aanvang op scheikundige wisseling der bestanddeelen van het hooi, juist als bij de gisting. Daaruit alleen ontstaat de temperatuurs-verhooging, die nu het hooi, dat met dampkringslucht omgeven is, doet vlam vatten, als werd het door een gloeijend ligchaam genaderd.

De kennis aan het verschijnsel van zelfontvlamming, hetwelk wij in het voorbeeld van broeijend hooi kortelijk hebben ontwikkeld, is in de toepassing van groote waarde. Hooi is gedroogd gras, eene gedroogde plant, zulk eene plant, die door niets bijzonders gekenmerkt is ten aanzien van het zoogenaamde broeijen; integendeel, zeer vele, de meeste planten ondergaan onder dezelfde omstandigheden hetzelfde, sommige zelfs in hoogere mate, zoodat zij, hetgeen het hooi in groote massa slechts aanbiedt, reeds in veel kleinere massa vertoonen.

De voorwaarden tot zelfontbranding zijn evenzoo bij deze voorwerpen afhankelijk van omstandigheden, als in de gevallen der bovengenoemde eerste rubriek. Hier, b. v. bij het hooi, heeft de hoeveelheid vooral invloed: hoe grooter die hoeveelheid, hoe sterker de broeijing; want des te minder zal de afkoeling zijn door de omgevende lucht. Hoe meer de lucht van de geheele massa is afgesloten, hoe sterker de broeijing; men boort midden in den hooiberg luchtkanalen, om de broeijing geheel te voorkomen.

Het omgekeerde zien wij bij de pyrophoren. Dáár moest juist de aanraking met de lucht overvloedig zijn, om temperatuurs-verheffing tot ontbranding te doen ontstaan, terwijl bij afsluiting der lucht die temperatuurs-verhooging niet ontstaan kan.

In den grond staan derhalve deze twee soorten van zelfontbranding tegen elkander over. Doen zij dit ook in de toepassing? Neen, hier naderen zij elkander weder in menig opzigt. Wanneer namelijk eenmaal temperatuurs-

verhooging bij pyrophoren of bij broeijen der organische voorwerpen ontstaan is, ontstaan uit een verschillenden grond, hebben beide reeksen van objecten lucht noodig, om voort te branden. Van de pyrophoren behoeft dit niet nader herinnerd te worden. En van het hooi? Wanneer dit op het oogenblik, dat het vlam zou kunnen vatten, van de lucht werd afgesloten, zou de ontvlamming niet ontstaan.

In de praktijk komen dus beide werkingen in deze twee punten overeen: de pyrophoren ontbranden niet bij afsluiting der lucht; de broeijende organische voorwerpen verkoolen wel bij afsluiting van lucht, maar kunnen alzoo niet ontbranden, want tot dit laatste is eene ruime toetreding van lucht noodig. Bij vrije toetreding van lucht ontbranden beide.

Worden dus de ligchamen van de eerste of van de tweede reeks in goed sluitende vaten verzonden of bewaard, zoo is ontbranding onmogelijk, indien die vaten geene lucht doorlaten.

Maar in de praktijk verschillen zij wederom hierin, dat de meeste der genoemde pyrophoren in klein bestek kunnen geborgen worden, terwijl bij broeijende organische voorwerpen de hoeveelheden, die broeijen, in den regel zoo groot zijn, dat er aan eene opsluiting, b. v. in ijzeren vaten, niet te denken valt.

Opzettelijk hebben wij ons in deze rubriek tot nu toe alleen bepaald bij broeijend hooi, omdat dit verschijnsel algemeen bekend is. Het zamengeperste hooi, hetwelk ter voedering van beesten soms op schepen wordt medegenomen, is aan dezelfde broeijing onderworpen als het hooi in de hooibergen, en wordt het met ijzeren banden, zoo als men doet, bijeen gehouden, dan is dit, versch en vochtig zamengeperst, als een der gevaarlijkste voorwerpen in schepen te beschouwen. Door het te doen droogen vóór de zamenpersing, en door een weinig ouder hooi te nemen, wordt het bezwaar geheel voorkomen. Maar wie waarborgt voor de goede uitvoering van beide?

Volmaakt hetzelfde bezwaar, dat wij van het hooi kennen, leveren nu alle meer of min gedroogde, maar overigens versche planten op. En ziedaar eene reeks van gevaarvolle stoffen aangegeven, wier zelfontbranding volkomen op dezelfde wijze ontstaat en voortgaat als bij het hooi. Zij, die bijzonder vochtig zijn geven wel hitte, maar de vochtigheid der voorwerpen belet de ontvlamming. Daartoe behooren geheel versche plantendeelen, op hoopen gelegd, b. v. tabak en vele anderen, die daardoor dan ook spoedig bederven. Een welbekend voorbeeld is de paardenmest, die op hoopen zoo veel warmte ontwikkelt, dat

wij, bij eene lagere luchttemperatuur, er de warme waterdampen als nevel van zien ontwijken. Eene aanzienlijke verhooging van temperatuur heeft hier plaats, ten koste van de scheikundige wisseling der bestanddeelen, van het dus genoemde broeijen; maar tot ontvlamming komt het niet, omdat de massa veelal te vochtig is.

Onder de producten van planten zijn er velen, die als versch hooi schadelijk zijn, uit het onderhavige oogpunt. Bewerkt en gezuiverd katoen, met geene stoffen doortrokken, mist deze hoedanigheid. Het aldus bereide katoen is bijna zuivere plantencellenstof, het mist de als gist werkende ligchamen; zulk katoen broeit dan ook niet, indien het met niets is gemengd of bedeeld. En komt het tot zelfontbranding, dan is dit het gevolg van ingemengde stoffen, b. v. eene oxyderende olie; het ontbrandt dan niet door broeijing.

Maar ruw linnen of hennip of vlas, het weefsel van koffijbalen en ruw katoen en vele voorwerpen van dien aard, waarin die als gist werkende stoffe wel gevonden wordt, kunnen inderdaad die zelfde broeijing ondergaan. Van dezen geldt alles, wat van het hooi gezegd is, mits zij daartoe niet te oud en meer of min vochtig zijn. Opeengepakt wordt er dan in hen eene verhoogde temperatuur ontwikkeld, die tot vlam kan overslaan, onder vrije toetreding der lucht.

Het is zoo, men ziet die broeijing in die voorwerpen veel zeldzamer ontstaan dan bij het hooi, maar de reden daarvan is eenvoudig. Vooreerst komen er niet zoo vele, voor broeijing vatbare stoffen in voor als in hooi, ten andere worden zij in den regel, ouder zijnde, zamengepakt, en eindelijk, het ruwe katoen uitgenomen, zeldzaam in die hoeveelheid zamengebragt, waarin men hooi verzamelt. Ziedaar dan de reden van de verschillen; accidentele verschillen bestaan hier, geene essentiele, en wij mogen dus dit gedeelte van ons verslag besluiten met de algemeene opmerking: »Dat plantaardige, meer of »min versche, niet geheel drooge ligchamen, in het algemeen de hoedanig»heid hebben van te broeijen en soms zulk eene broei-temperatuur kunnen »ontwikkelen, waarbij zij, onder vrije toetreding der lucht, vlam kunnen »vatten".

Onder deze voorwerpen zijn er die dit veel sterker doen dan anderen, anderen wederom die dit veel minder doen, sommige zijn nimmer in staat, om vlam te vatten. Wij zullen ze later, zoo veel in ons is, onderscheiden.

In dit onderscheid kunnen bezwaren voorkomen, zoodat het soms moeijelijk zal zijn uit te maken of eene organische stoffe door broeijing, of door enkel

16

oxydatie in brand kan geraken; b. v. ruw linnen, hetwelk met een weinig olie doortrokken is. Geraakt dit in brand, dan kan alleen eene naauwkeurige kennis aan al de omstandigheden beslissen, of het ligchaam ontbrandt ten koste der zich oxyderende olie, of ten gevolge van het broeijen.

Wil men een algemeenen regel, hij zou deze zijn : zijn zulke voorwerpen nat, dan zal de oorzaak der ontbranding het broeijen zijn; zijn zij droog, dan zal het de oxydatie der olie zijn, die tot de ontbranding aanleiding geeft. Is de vochtigheids-toestand van het voorwerp, dat ontbrandt, vooraf niet bekend geweest, zoo kan daarna geene beslissing worden aangebragt, of het verschijnsel van zuurstof-opslorping of van broeijen moet worden afgeleid.

In al de gevallen der tot nu toe behandelde reeks van zelfontbranding, die wij hebben aangevoerd en waarvan wij twee soorten hebben onderscheiden, was geene aanvoering van een brandend ligchaam, geene opzettelijke verhooging van temperatuur van buiten aangebragt, noodig, maar werd er steeds dampkringslucht gevorderd, om de verbranding te doen plaats hebben.

Verschijnselen van dien aard kunnen uit het gebied der scheikunde met vele andere worden vermeerderd; b. v. de gassoort zij niet lucht, niet zuurstof, maar chloor. Brengt men fijn poeder van arsenicum, van antimonium, van andere metalen, in de gewone temperatuur in chloorgas, zoo heeft er onmiddellijk verbranding plaats, verbinding van het metaal met chloor, onder verspreiding van warmte en licht.

Maar uit het practische oogpunt hebben deze gevallen geene waarde; wij gaan ze daarom voorbij. Even zoo spreken wij niet over zeldzaam voorkomende stoffen, die aan de lucht blootgesteld ontvlammen, b. v. alcarsine. Wat ook hiervan zou te zeggen zijn, zou zijne toelichting vinden in het reeds medegedeelde.

b. Ligchamen, die door wrijven, slaan of stooten ontbranden.

Eene tweede reeks van voorwerpen treffen wij aan, die zelfontbranding kunnen voortbrengen en daartoe veelal *niets* van buiten behoeven, zelfs geene lucht, geene zuurstof; zij hebben alles in zich, wat zoodanige scheikundige wisseling geven kan, dat daarbij warmte en licht ontwikkeld wordt, maar

maar behoeven daartoe toch uitwendige ondersteuningsmiddelen. Zij alle kunnen door eene vlam of een heet ligchaam ontvlammen, maar ook op andere wijze, en die andere wijze heeft aanleiding gegeven, ze onder de zelfontbrandbare op te nemen, hoezeer ten onregte. Wanneer toch door eenen slag of stoot, door wrijving warmte wordt opgewekt, en eene stoffe of een mengsel vat daarna vlam, dan kan men niet zeggen, dat er zelfontvlamming bestaat. De slag of het wrijven heeft warmte te voorschijn geroepen, wel minder warmte dan eene naderende vlam zou voortbrengen, maar warmte in genoegzame mate, om eene beginnende scheikundige wisseling der deelen van het ligchaam op te wekken, waardoor dan op nieuw warmte vrij wordt en deze zoo hoog klimt, dat het geheel ontleed, gewijzigd wordt, onder verspreiding van warmte en licht.

Uit het oogpunt der toepassing is deze reeks van verschijnselen van veel waarde; wij willen er daarom nader bij stilstaan.

Door eenen slag of stoot kan buskruid ontvlammen. Men brenge buskruid in eene afgeslotene ruimte en stoote er met een hard ligchaam krachtig op, er zal warmte ontwikkeld worden en van salpeter, zwavel en kool, de bestanddeelen van buskruid, zullen, onder ontwikkeling van warmte en licht, ontstaan zwavel-potassium, koolzuur en stikstofgas. Lucht of zuurstof is hiertoe niet noodig. De wrijving van een stuk staal op vuursteen is genoeg, om buskruid te ontsteken.

De klasse der aldus voor ontbranding vatbare ligchamen is zeer groot; gelukkig echter komen er weinige van in het gewone leven voor.

Degenen, die vooral in aanmerking komen, zijn de fulminaten van zilver of kwik, waarvan het laatste wordt aangewend ter vulling der percussiedopjes. Men kan op fulminaat van kwik naauwelijks stooten, of het geeft genoegzame warmte (ook licht) om andere voorwerpen te ontsteken; niet slechts buskruid, waarvoor de stoffe der percussiedopjes wordt aangewend, maar alle andere, gemakkelijk ontvlambare ligchamen. Men kent ze daarom als hoogst gevaarlijk. De door een slag of stoot ontploffende stoffen zijn door Aubert, Pélissier en Gay-Lussac uitvoerig onderzocht (*Ann. de Ch. et de Phys. Tom 42 pag.* 5).

Zwavel, koolpoeder en chloras-potassae. Op Berthollet's voorschrift werd weleer daaruit te Esbonne buskruid vervaardigd; maar eene ontploffing, onder zijne bereiding ontstaan, deed hiermede niet verder voortgaan. Door eenen slag ontbrandt het met geweld.

Knalzuur kwikoxyde, Howard's poeder genaamd. Het wordt, zoo als wij zagen, in percussiedopjes gebruikt. Bij slag of stoot wordt het in kwikdampen, stikstof, koolzuur en kool veranderd. IJzer op ijzer slaande, doet het dadelijk ontploffen; ook ijzer op brons, hoewel trager; het traagst ijzer op lood, en met ijzer op hout ontploft het in het geheel niet. Maar door wrijven, vooral van hout op hout, ontploft het onmiddellijk. Met 5 en 10 pCt. water bevochtigd, ontbrandt het veel trager; zelfs met 30 pCt. water gemengd, kan het door wrijving nog, hoezeer dan ook slechts gedeeltelijk, ontploffen. Opmerkelijk is het, dat, zoo het Howard's poeder, naast of gemengd met buskruid, op papier gelegd, het eerste ontstoken wordt, het buskruid niet verbrandt. In besloten ruimte is dit anders; in geweren steekt het knalzuur kwikoxyde het buskruid aan.

De fulminas argenti verdient als ontbrandbare stoffe, door stooten of slaan van zelf ontbrandende, alle overweging, niet slechts als gevaarlijke en tot zelfontbranding aanleiding gevende stoffe, maar ook om zijn menigvuldig voorkomen in het gewone leven. Dit zout toch is het, waarmede men stukjes kaart of perkament aan het einde bedeelt en met gestoten glas gemengd en aaneen gekleefd, die voorwerpen vervaardigt, waarmede men zich op desserten vermaakt.

Descostils heeft (*Ann. de Ch. Tom.* 62. *p.* 198) het eerst op die voorwerpen de aandacht gevestigd en aangetoond, dat het detonnerende poeder hetzelfde was als dat van Howard, met dit verschil, dat in het laatste kwikoxyde, in het eerste zilveroxyde voorkomt. Nog bereidt men den fulminas argenti, zoo als Descostils heeft opgegeven, door namelijk alcohol te voegen bij eene kokende oplossing van nitras argenti.

Later heeft Gay-Lussac dit ligchaam onderzocht en tot zijnen aard teruggebragt. Het ontploft door warmte, door eenen slag of stoot, door wrijving, door eene electrieke vonk. Maar ook sterk zwavelzuur, waarmede het in aanraking komt, doet het ontbranden.

Al deze invloeden brengen zoowel eene ontploffing voort bij kleine als bij groote hoeveelheden. In gewoon speelgoed of nevens lekkernij ingepakt (chocolaadjes) komt genoeg voor, om het papier, waarin deze voorwerpen gewikkeld zijn, vlam te doen vatten, wanneer door eenen slag of stoot ontploffing van het fulminaat wordt voortgebragt. Zulke voorwerpen vooral moet men schuwen, daar zij door hunne schijnbaar onschuldige natuur zoo ligt misleiden. Op hen moet men bij vervoer van goederen vooral de aandacht vestigen.

Tot die zelfde reeks behoort chloor-stikstof, eene druipbare stoffe, die soms zelfs niet met eene pennenveer kan worden aangeraakt, zonder hevig te ontploffen; stikstof-metalen, als dondergoud en donderzilver; nitro-picraten, chrysamminaten en vele anderen, die den scheikundige telkens het leven bedreigen. Gelukkig zijn zij echter buiten de laboratoria weinig bekend.

Maar van practische waarde is toch menige andere zelfstandigheid, die hiertoe behoort, omdat, vooral in de laatste jaren, haar gebruik zoo zeer is toegenomen.

Vooral behoort hiertoe de chloorzure potassa. Op zich zelf is dit zout alleen bij sterke verhitting gevaarlijk: een slag of stoot zal het moeijelijk kunnen doen ontploffen; maar met brandbare stoffen gemengd, heeft het soms slechts eene ligte wrijving noodig, om vlam te geven en daarbij — ook zonder toetreding der lucht — eene zeer hooge temperatuur voort te brengen.

Dit zout is datgene, hetwelk gevonden wordt aan de lucifers, die met zekeren slag verbranden; de lucifers, die rustig afbranden, missen het.

Wordt chloorzure potassa met zwavel b.v. gemengd en in bladtin gewikkeld en daarop met eenen hamer geslagen, zoo verbrandt het mengsel, dat is, er wordt chloor-kalium gemaakt en de zwavel verbrandt in de zuurstof van het zout. Er ontstaat ontploffing met vlam. Neemt men de proef met chloorzure potassa en phosphorus, zoo is de verbranding hevig; meestal wordt een deel phosphorus brandend voortgeworpen.

Wij zijn aan Becquerel onderzoekingen verschuldigd aangaande de warmte door wrijving opgewekt (*Ann. de Ch. et de Phys. Tom.* 70 *p.* 324).

Hout, tegen hout gewreven, geraakt in brand. Een alliage van twee deelen antimonium en een deel ijzer, gevijld, geeft levendige vonken van verbrande metalen.

Rumfort verkreeg eene temperatuur, waarbij hij water kon koken, bij het uitboren van een kanon.

Maar al deze verschijnselen zijn genoegzaam bekend; wij spreken er daarom niet nader over. Het vuurslaan berust geheel op de warmteontwikkeling door wrijving. Men wrijft eensklaps een stuk staal tegen een harden steen, men slaat kleine deeltjes staal van de massa af en de ontwikkelde warmte is voldoende, om de afgeslagen staaldeeltjes zoo te verhitten, dat zij met vonkeling in de zuurstof der lucht verbranden.

Dat door wrijving alle vaste brandbare ligchamen in brand kunnen geraken, is naauwelijks te betwijfelen; men heeft echter vele op deze wijze nog niet

ontstoken. Bekend is het ontvlammen van hout, bij genoegzame wrijving; van touwwerk over hout wrijvende en in vele andere gevallen. Door de wrijving wordt temperatuursverhooging voortgebragt, voldoende om scheikundige wisseling van bestanddeelen op te wekken. Vermindering der wrijving, door vettige ligchachamen, voorkomt die temperatuursverhooging.

In de scheikunde staan ontelbare voorbeelden opgeteekend van ontbranding door wrijving; b. v. wordt arsenicum-metaal, in vochtigen toestand, tot poeder gewreven, zoo wordt het warm en geraakt in brand, dat is, het oxydeert zich door de zuurstof der lucht, onder ontwikkeling van warmte en licht. (*Journ. de Pharm.* 1827. *p.* 455).

Wrijft men fijn verdeeld koper en zwavelbloemen in eenen mortier vlijtig te zamen, zoo geraakt het mengsel in gloed en er wordt zwavelkoper gevormd, dat is eene scheikundige verbinding.

Maar in de toepassing is de kennis dezer stoffen van minder waarde. Zoo veel te meer is zij het van de lucifers.

De lucifers, die met zekeren slag verbranden, zijn waspitjes of houtjes, die aan het einde zwavel bevatten. Daaroverheen is een deeg gedroogd van eene gekleurde stoffe met fijn verdeelden phosphorus en poeder van chloorzure potassa. Na drooging behoeft men, zoo als wij weten, dit mengsel slechts zacht te strijken over eene scherpe oppervlakte, om het vlam te doen vatten, waardoor dan de ondergeplaatste zwavel en daardoor het hout wordt ontstoken, of wel het was, waaraan het mengsel gehecht is.

Tot de aanvangende verbranding is de zuurstof der lucht niet noodig, wel, om het hout of het was te doen ontbranden. Het mengsel zelf verdient dus zoo zeer den naam van zelfontbrandbaar, als eenig ander; maar, daar het zonder verhooging van temperatuur, door een heet ligchaam, door slaan of wrijven opgewekt, niet ontvlamt, verdient het dien naam niet uit een zuiver wetenschappelijk oogpunt.

Men heeft in den aanvang bij het gebruik der lucifers vele bezwaren in sommige landen daartegen in gebragt, ze zelfs geweigerd te vervoeren, uit vrees voor ontbranding. Van den anderen kant heeft men trachten aan te toonen, dat men het gevaar overdreef, en b. v. geheele balen met lucifers van zekere hoogte geworpen, zonder dat zij vlam vatteden.

Zulke proeven bewijzen niets, dan dat *toen* het ontvlammen niet ontstond. Het eenvoudig afstrijken van eenen lucifer leert voldoende, dat eene kleine

warmteonwikkeling, door juist daartoe strekkende wrijving aangebragt, ontvlamming geeft. Wat bewijzen dan negative proeven? Even als de stoffe der percussiedopjes vormen zij gevaarvolle zelfstandigheden, hoezeer zij dan ook nooit van zelve ontvlammen. Maar zij zijn gevaarvol, omdat eene kleine wijziging in den toestand, een ligchaam b. v. hetwelk er op nedervalt of tegenstoot, zooveel doet ontvlammen, als van lucifers bijeen verzameld verkeert. Daarom verdeelt men ook de lucifers, vóór de verzending, in stevige houten doosjes, of behoorde men dit te doen, opdat, indien de inhoud van eene doos al mogt ontvlammen, de verbranding niet tot de geheele massa zal overslaan.

Er is eene andere soort van lucifers, die chloorzure pottassa missen, maar in de plaats daarvan hebben salpeter, of bovendien menie of bruinsteen met eene gekleurde stoffe en als voornaam bestanddeel phosphorus. Zij branden rustig af, zonder slag, maar zijn, wat de ontvlambaarheid aangaat, even gevaarlijk als die, welke chloorzure pottassa bevatten. In het klein zijn zij zamengesteld als de voorwerpen der vuurwerkerijen, en dus even gevaarlijk als deze, veelal veel gevaarlijker dan buskruid, hetwelk eene veel hoogere temperatuur vordert om te ontvlammen, dan alle soorten van thans gebruikelijke lucifers slechts noodig hebben.

Eene kleine verschuiving van eene kist tegen eene kist met lucifers gevuld, in het ruim van een schip, eene verschuiving, waarvan niemand kennis draagt, is voldoende, om het grootste onheil voort te brengen en soortgelijke voorwerpen verdienen dus zeer de overweging.

De genoemde voorbeelden mogen echter voldoende zijn, om de tweede rubriek toe te lichten van voorwerpen, die, veelal zonder lucht, kunnen ontvlammen, des noods enkel door eenen slag of stoot.

c. Voorwerpen, welke slechts bij onderlinge aanraking ontbranden.

Eigentlijk behooren daartoe de in den aanvang van ons verslag genoemde pyrophoren, daar deze slechts ontbranden bij aanraking met lucht, maar uit een toepasselijk oogpunt was het beter, deze afzonderlijk te behandelen.

De gevallen, die wij hier bespreken, zijn dezulke, waar twee stoffen minstens moeten zamentreffen — de lucht buiten invloed gelaten — om ontvlamming te geven, eene ontvlamming, die dan het gevolg is van die zamentreffing.

Eene menigte gevallen behoort hiertoe, waarvan wij er eenige kortelijk willen toelichten.

De lucifers, zagen wij, kunnen door wrijven worden ontstoken. Dompelt men lucifers, met chloorzure potassa bedeeld, in sterk zwavelzuur, zoo ontvlammen zij ook. Ziedaar een voorbeeld, hoe dezelfde stoffen op verschillende wijze ontvlammen kunnen, zonder aangebragte vlam. Vóór de strijklucifers in gebruik waren, had men dezulke, die door indompeling in een fleschje, waarin met zwavelzuur bevochtigd asbest bevat was, vlam vatteden.

De toepassing in het groot is ligt te maken. Eene flesch met vitrioololie breekt naast of boven een vat met lucifers, als de genoemde zijn. Er zal ontbranding ontstaan.

Men heeft het zwavelzuur, dat is de vitrioololie, veel te sterk geteekend, als eene stoffe, die ontbranding kan voortbrengen van brandbare ligchamen, zoodanig, dat in het gewone leven het bezit van vitrioololie en aanleiding tot brand in hunne beteekenis als zamenvallen. De onjuistheid van dit beweren is door de ervaring genoeg bewezen. Welligt is die onjuiste meening ontstaan deels door het invretend en bijtend vermogen, dat de vitrioololie op de huid en andere deelen van het ligchaam uitoefent, deels door de zwarte, schijnbaar koolachtige stoffe, die houtzaagsel, linnen en andere voorwerpen uit zijne inwerking bekomen en waarin zij veranderd worden.

Maar de vitrioololie is desniettemin eene hoogst gevaarlijke stoffe, indien zij tot bepaalde zelfstandigheden treedt. Van de aanraking met de stoffen der chloorzure potassa houdende lucifers is het gevolg ontvlamming, eerst uitscheiding van het chloorzuur, hetgeen oogenblikkelijk daarbij wordt ontleed en zijne zuurstof afgeeft ter oxydatie van phosphorus, zwavel en hout, of het met was doortrokken katoen der lucifers.

Op soortgelijke wijze kan nu de vitrioololie verbranding doen ontstaan, zelfontvlamming voortbrengen, indien zij met stoffen gemengd wordt, die deels brandbaar zijn, deels zuurstof afgeven, of ook wel, indien zij zelve brandbaar zijn en door de vermenging met vitrioololie tot eene genoegzaam hooge temperatuur verhit worden.

Zulke dan van zelf ontvlammende mengsels zijn b. v. alcohol, salpeter en vitrioololie; alcohol, salpeterzuur en vitrioololie; terpentijnolie — of andere vlugtige oliën — met salpeterzuur en vitrioololie en anderen. In deze alle is het salpeterzuur, dat de zuurstof geeft en dat de brandbare stoffe doet ontvlammen, terwijl de vitrioololie eigentlijk vooral dient, om het salpeterzuur van water te

bevrijden en tevens om de warmte te verhoogen. Rookend salpeterzuur, met sommige vetten of vlugtige oliën gemengd, geeft soms ontvlamming. In elk geval ontstaat zij eensklaps en is in dezelfde mate hevig, waarin de hoeveelheden grooter zijn, die zamentreffen, b. v. peterselieolie met salpeterzuur.

Bij deze mengsels is de zelfverbranding te gevaarlijker, omdat er zeer vlugtige brandbare zelfstandigheden in het spel komen, dezulken, die *met vlam* verbranden; zoodat het verschijnsel den naam *van zelfontvlamming* in de hoogste mate verdient, eene ontvlamming, die somtijds met ontploffing gepaard gaat, vooral wanneer de hoeveelheden aanzienlijk zijn. Er ontstaat een zelfontbrandbaar gasmengsel of een zoodanig mengsel van dampen, waardoor brandbare voorwerpen op eenen afstand kunnen worden ontstoken. De proeven, ter demonstratie van het verschijnsel genomen, worden dan ook steeds met kleine hoeveelheden der bijeen te voegen stoffen in het werk gesteld.

Merkwaardig is hier al weder de phosphorus. Hij vat ligtelijk vlam bij verwarming en bij wrijving; in aanraking met sommige ligchamen, ook in de gewone temperatuur, zonder verwarming of wrijving, b. v. wanneer phosphorus in bromium gebragt wordt. De proef kan zonder gevaar slechts met zeer kleine hoeveelheden genomen worden, die van den phosphorus in bromium worden neder gelaten, en nog worden deze meestal onmiddellijk na de aanraking brandend uit het vloeibare bromium voortgeslingerd; altoos ontstaat er zelfverbranding, dat is, scheikundige verbinding der twee grondstoffen onder ontwikkeling van warmte en licht, juist zoo als de vroeger genoemde pyrophoren vertoonen, wanneer zij met de lucht in aanraking komen.

Gelukkig voor de zamenleving, dat er niet vele zulke voorwerpen in zijn overgegaan, maar er zijn er toch, en hoezeer zij nu juist geene verbranding met ontploffing voortbrengen, zoo geven zij toch verbranding en ontvlamming met al hare gevolgen en verdienen daarom nader vermeld te worden.

Mengt men poeder van ijzer met bloem van zwavel tot zekere hoeveelheid en bevochtigt men dit mengsel en stelt men het aan de lucht bloot, zoo kan het vlam vatten en verbranden. Lemery heeft hierdoor meer of min de ontbranding van vulkanen willen nabootsen. Daartoe kan het echter niet dienen, omdat daarbij andere werkingen plaats hebben. Maar het verschijnsel verdient onze overweging, omdat het in verband staat met werkingen, die somtijds tot groot onheil leiden.

IJzer en zwavel verbinden zich, onder toetreding van water, tot zwavelijzer, hetwelk, met de lucht in aanraking, wordt geoxydeerd tot zwavelzuur-

ijzeroxydule, en bij dit laatste kan een deel der overvloedige zwavel verbranden en vlam vatten, terwijl het geheel onder de scheikundige verbinding tot gloeijens toe wordt verhit.

Mengt men dus ijzer met zwavel, beide in fijn verdeelden toestand, en vloeit er bij dit mengsel door toevallige oorzaken water, zoo kan er zelfontbranding ontstaan.

Wij kunnen niet te veel gewigt hechten aan deze waarheid; want op haar berust de zelfontvlamming, die nu en dan in steenkolen, hetzij in de mijnen zelve, hetzij buiten de mijnen, soms op schepen, is waargenomen.

In sommige soorten van steenkolen komt zulk zwavelijzer het eerste Fe S voor, hetwelk door oxydatie in zwavelzuur-ijzeroxydule kan veranderd worden. Het is als een mengsel van ijzer en zwavel te beschouwen, ten aanzien van het ontbrandbaar vermogen, wanneer het door water getroffen wordt; het wordt daarbij verhit en de omgevende lucht oxydeert de bestanddeelen zoo snel, dat zij in gloeijen geraken.

Maar dat zwavelijzer, zagen wij, is in sommige steenkolen bevat. Wat zal er gebeuren, wanneer zulk zwavelijzer, in steenkolen besloten, aan de lucht blootgesteld, door water getroffen wordt en daarbij tot gloeijens wordt verhit, onder opslorping van zuurstof? Noodwendig zullen de steenkolen in de verhitting gaan deelen en in de lucht voortgaan met te verbranden.

Menige steenkolenmijn is op deze wijze in brand geraakt, eenvoudig door dat er water in vloeide; het middel, hetwelk tot blusschen van brand wordt aangewend, veroorzaakt hier brand; omdat het de deelen, die zuurstof opslorpen, beweegbaar maakt, derhalve de punten van aanraking vergroot, de scheikundige werking bevordert. Het is echter het water zelf niet, hetwelk de ontbranding doet ontstaan; het is de zuurstof der lucht, die deze voortbrengt. Dat eerste zwavelijzer is een ware pyrophoor, mits het los van zamenhang zij, en het door water niet te veel, want dan wordt de lucht afgesloten, maar door een weinig water getroffen wordt.

Zoodoende was eene kleine lekking van water, op steenkolen in schepen of elders, voldoende om ontbranding der steenkolen te doen ontstaan.

In alle soorten van steenkolen wordt dit zwavelijzer niet gevonden; daar, waar het ontbreekt en in dien lossen poreusen toestand ontbreekt, die eene voorwaarde is, om als pyrophoor op te treden, daar ontbranden de steenkolen niet op deze wijze.

Dat hierbij de zuurstof der lucht de oorzaak der voortgebragte gloeijing van

het zwavelijzer is, kan blijken uit de opslorping van zuurstof, die hierbij plaats heeft. Weleer heeft men ijzer en zwavel, met water bevochtigd en onder eene klok met lucht geplaatst, aangewend als eudiometrisch middel, of ook wel ter bereiding van stikstof uit de lucht. De zuurstof verdwijnt hierbij geheel na eenige dagen, zelfs bij het gebruik van hoeveelheden ijzer en zwavel, die niet groot genoeg zijn, om gloeijing voort te brengen van het mengsel.

De vraag moet worden opgeworpen, of ter vorming der nieuwe verbinding het water wel noodzakelijk is? In volmaakt drooge lucht geschiedt de oxydatie van zwavelijzer tot zwavelzuur-ijzeroxydule zeker niet, in vochtige lucht langzaam, bij overgieting met water snel.

Kan dan vochtige lucht niet insgelijks zelfontbranding doen ontstaan, en is er wel toevloeijing van eene geringe hoeveelheid druipend vloeibaar water noodig, om het eerste zwavelijzer in steenkolen te doen glimmen en daardoor de steenkolen te ontsteken?

Het kan niet worden ontkend, dat in sommige gevallen zeer vochtige lucht in steenkolen zelfontbranding voortbrengen kan; maar, zoo verre de waarnemingen in mijnen strekken, was er steeds daar druipend vloeibaar water tot de steenkolen getreden, waar deze in vlam waren overgegaan.

In elk geval is het water hier slechts eene ondersteunende, eene de werking bevorderende stoffe; de zuurstof der lucht is tot de verbranding der steenkolen onvermijdelijk, zoo wel als tot de eerste ontglimming van het zwavelijzer, hetwelk de steenkolen in vlam zet.

Betreffende de zelfontbranding van steenkolen die Fe S (of het dus genoemde protosulphuretum ferri) bevatten, vinden wij opgeteekend, dat te *Kilkerran* in *Ayrshire* vóór 80 jaren eene groote kolenmijn in brand geraakte, door doorgedrongen water. Te *Johnstown* bij *Paisley* geraakte mede daardoor eene groote massa steenkolen in de mijn in brand, zoodat de vlam 100 voeten uit de mijn opsteeg; maar door de mijn vol water te pompen, werd de brand weder gebluscht.

Een onzer heeft de Koninklijke Akademie onlangs over dit verschijnsel nader onderhouden (zie de *Verslagen en Mededeelingen der Akademie* D. I, St. 2 bl. 154).

Hetgeen de steenkolen aanbieden wordt ook in sommige soorten van turf gezien. Er is eene soort van vuurvattende turf, onder anderen in het Departement *Aisne* voorkomende, eene zwarte massa, met het eerste ijzer-sulphuur doordrongen, die zich bij aanraking met lucht in vlam zet. (*Journ. de Phys. Tom.* 51 *p.* 292; *Tom.* 53 *p.* 1, *Tom.* 55 *p.* 189).

Over pyritueuse turf heeft Poiret eene uitvoerige onderzoeking medegedeeld. (Gilb. *Annalen Bd.* 24, *S.* 469, 1805). Wij mogen er hier niet over uitweiden, maar toch dit er van vermelden, dat zij onder gelijke omstandigheden als de zelfontbrandbare steenkolen in brand geraakt, namelijk door aan de lucht blootgesteld, door water getroffen te worden.

Eene onmiddellijke rol vervult het water in de ontwikkeling van warmte, wanneer het zelf met ligchamen scheikundig gebonden wordt, b. v. bij verdunning van vitrioololie met water, bij blussching van kalk en in vele andere gevallen. Tot gloeijing klimt de hierbij ontwikkelde temperatuur, indien men kalk van marmer neemt; maar gebluscht wordende gewone kalk kan altoos zoo heet worden, dat er buskruid door ontvlammen, dat er dus zooveel meer nog phosphorus en dus lucifers door ontstoken worden kunnen, en als zoodanig verdient die warmteontwikkeling, welke bij de scheikundige verbinding van kalk met water ontstaat, in de toepassing zeer overweging. Waar ligt ontbrandbare stoffen nevens kalk aanwezig zijn, behoeft er slechts water tot den kalk te treden, om het verschijnsel zelfontbranding te doen ontstaan, dat is, ontbranding zonder aangebragte hitte van een brandend voorwerp.

In de boven aangehaalde verhandeling van Thijssen herinnert hij, dat reeds Theophrastus vermeldt, dat water, over kalk vloeijende, een schip kan doen verbranden, en haalt hij twee gevallen aan van brand, in eene schuur en in het huis eens leidekkers, veroorzaakt door het vloeijen van water bij ongebluschten kalk.

Wordt ongebluschte kalk met salpeterzuur of met zwavelzuur in eenen dunnen straal overgoten, zoo ontstaat er eene veel sterkere warmteontwikkeling dan bij het aanwenden van water. Magnesia, versch uitgegloeid en met zwavelzuur bevochtigd, geraakt aan het gloeijen. Geen van de in de werking begrepen stoffen is voor verbranding vatbaar; het is eene warmte ontwikkeling, ten gevolge van scheikundige verbinding. Maar verbranding in den eigentlijken zin des woords is niet anders. Wanneer houtskool in zuurstof-gas verbrandt, gebeurt er in werkelijkheid niets anders, dan wanneer zwavelzuur zich met kalk of magnesia vereenigt; in beide gevallen wordt er eene scheikundige verbinding gevormd, waarbij zoo veel warmte vrij wordt, dat er licht bij ontwikkeld wordt, licht, hetwelk geringere warmte hoeveelheden niet vergezelt, maar grootere, of, indien men wil, zich uit grootere hoeveelheden warmte ontwikkelt.

Onder de vloeistoffen, die aan brandbare ligchamen vlam kunnen mededeelen

in de gewone temperatuur, behoort het chloorzuur. Wanneer men vloeipapier zelfs eenige malen zamengevouwen, dompelt in chloorzuur en aan de lucht blootstelt, ontvlamt weldra het papier (SERULLAS in *Ann. de Ch. et de Phys. Tom.* 45 *p.* 206). Chloorzuur, met zeer weinig alcohol gemengd, doet dezen in brand geraken (ibid).

Maar deze en vele andere stoffen, die in de scheikunde bijzondere overweging verdienen, mogen wij hier met stilzwijgen voorbijgaan.

Naar proeven van POUILLET (*Ann. de Ch. et de Phys. Tom.* 20 *p.* 141) nemen zeer onderscheidene vaste stoffen eene hoogere temperatuur aan, wanneer zij met vloeistoffen doortrokken worden; voor vaste stoffen zag hij dit bij poeder van metalen, metaal-oxyden, verschillende mineralen, maar ook bij hout, basten, wortels, spons, zijde, haren, wol en wel bij bevochtiging met water, alcohol en olie. De temperatuurs-verhooging kon hierbij soms tot 6 à 10° C. stijgen. Hier heeft derhalve iets soortgelijks plaats, als bij de verdigting van gassen in vaste, vooral in poreuse voorwerpen. Maar, waar geene scheikundig werkende vaste en druipend vloeibare ligchamen in aanraking komen, is deze temperatuurs-verhooging welligt nimmer in staat, zelfontbranding voort te brengen; waar deze wel in het spel komen, kan dikwerf zoo veel warmte worden ontwikkeld, dat ligt ontvlambare stoffen, daarmede in aanraking, ontbranden kunnen.

ANDERE GEVALLEN VAN ZELFONTBRANDING.

De warmte is in ontelbare gevallen een middel tot opwekking van scheikundige werkzaamheid; in vele gevallen is het ook het *licht*. Het zou ons te ver van ons onderwerp afvoeren, om die gevallen op te sommen, maar wij mogen wijzen op de ontwikkeling der groene kleurstof in het plantenrijk, onder den invloed des lichts; op de verkleuring van zeer vele organische kleurstoffen die, buiten den kring der levenswerkzaamheid, aan het licht blootgesteld zijn; op het bleeken enz.

In sommige gevallen kan het licht zulke snelle, eensklapsche werking voortbrengen, dat er ontbranding plaats heeft. Als meest merkwaardig voorbeeld halen wij hier aan de verbinding van chloor met waterstof. Worden deze in het duister vermengd, zoo verbinden zij zich zeer langzaam en zonder ontploffing. Maar brengt men zulk een mengsel eensklaps in de regtstreeksche zonnestralen, zoo wordt er onder hevige ontploffing eensklaps zoutzuur gevormd.

Onder de stoffen, die in het gewone leven zijn opgenomen, komen er echter zoo verre thans bekend is, geene voor, die soortgelijke uitwerking van het licht ondervinden, en wij mogen daarom van die werking des lichts hier verder zwijgen. Er zijn ons geene voorbeelden bekend, dat op deze wijze brand zou zijn ontstaan. Maar de mogelijkheid bestaat, en wij behooren dus omzigtig te wezen in onze uitspraak.

Terwijl wij met een enkel woord van het licht gewagen, als bron van zelfontbranding, mogen wij tevens de aandacht bepalen op de mogelijkheid van het ontstaan van brand door de zonnewarmte, door voorwerpen geconcentreerd, die daartoe gewoonlijk niet in staat geacht worden, b. v. met water gevulde karaffen, de lichtglazen in de dekken der schepen die als brandglazen werken, die de zonnewarmte zamendringen op een punt, waarin eene brandbare stoffe geplaatst is, een gordijn of een ander voorwerp.

Tot de zelfontbranding behoort echter deze wijze van brand voort te brengen niet; wij noemen haar derhalve slechts ter loops.

De zelfontvlambaarheid van den phosporus bij luchtverdunning mag hier mede niet met stilzwijgen worden voorbijgegaan. VAN MARUM (Chemische oefeningen van KASTELEIJN, Deel 3 p. 249) wikkelde een stukje phosphorus los in katoen, bestrooide het met poeder van hars, plaatste het aldus onder de luchtpomp, pompte snel en zag het geheel in brand geraken, toen de stand van den verklikker op 1 à ½ duim was gedaald. VAN BEMMELEN (GILB. *Ann. Bd.* 49 *S.* 268) en KONING (Nieuwe Verh. van het Zeeuwsch Genootschap D. 4) herhaalden deze proef en breidden haar in vele opzigten uit. Zij zagen, dat katoen niet noodig was, dat enkel harspoeder, of ook zwavelbloemen, waarmede de phosphorus bestrooid wordt, voldoende zijn. BACHE (*Edinb. Journ. of Science. Tom.* 8 *p.* 370 *N. Ser.*) vond ook zelfs harspoeder of zwavel niet noodig.

Het bezwaar, dat juist in zeer verdunde lucht, waarin phosphorus zooveel minder zuurstof vindt, verbranding plaats heeft, is door VAN MARUM zelf opgelost, die als ware oorzaak der zelfontbranding heeft aangewezen het vermogen van den phosphorus om te verdampen, maar dit zooveel te sterker te doen in eene ruimte, met steeds meer en meer verdund wordende lucht voorzien. Deze verklaring strookt geheel en al met hetgeen alle proeven over dit verschijnsel hebben geleerd.

Dat door zamendrukking van lucht zooveel warmte kan ontwikkeld worden, dat er zwam door kan worden ontstoken, is uit de daartoe gebruikelijke vuurtoestellen bekend.

Mollet heeft de hierbij ontwikkelde warmte het eerst doen kennen en zelfs op die wijze linnen doen vlam vatten. Pictet, Charles, Erman en anderen hebben haar nader aan het licht gebragt (Gilb. *Ann. Bd.* 18 *S.* 240, 1804). Eene snelle zamenpersing der lucht tot op $\frac{1}{12}$ van haar volumen wordt daartoe gevorderd.

Erman herinnert aan eenige verscheidenheid, die hierbij wordt waargenomen. Phosphorus, in aldus eensklaps zamengeperste lucht aanwezig, ontbrandt dadelijk; maar terwijl zwam insgelijks vuur vat, wordt een metaal-mengsel van Rose, hetwelk bij 100° C. smelt, in denzelfden toestel niet tot smelten gebragt. Evenmin kamfer of een stuk zwam met ether doortrokken.

Gilbert heeft deze proeven herhaald (ibid, S. 407), en na eenige stoten Rose's metaalmengsel wel kunnen smelten. Maar zwam ontbrandt niet bij 100° en behoeft daartoe in den regel slechts éénen stoot; — katoen, linnen en papier werden wel gezengd, maar geraakten niet in brand; — katoen, met colophonium bestrooid, verzengt, het colophonium wordt gesmolten. Even zoo katoen met zwavelbloemen bestrooid. Buskruid was alzoo niet tot ontbranding te brengen; in katoen gewikkeld wel. Katoen met terpentijnolie verzengde, brandde niet. Katoen en ether geraakten niet in brand.

Maar ook van deze wijze om brand voort te brengen, mogen wij slechts ter loops spreken.

Den invloed van electriciteit, alzoo van den bliksem op het ontsteken van brandbare voorwerpen, meenen wij in ons betoog geheel te moeten voorbijgaan; in wezen is dit ontsteken der ligchamen, alsof zij door een brandend voorwerp genaderd worden: verhooging van temperatuur.

Hiermede meenen wij het verschijnsel zelfontbranding uit een wetenschappelijk oogpunt genoegzaam te hebben toegelicht.

II.

ONDERZOEK NAAR HANDELS-ARTIKELEN, WELKE ONDER ZEKERE OMSTANDIGHEDEN VOOR ZELFONTBRANDING VATBAAR ZIJN.

Hetgeen wij tot heden toe hebben medegedeeld heeft de strekking gehad:

a. Om de beteekenis der woorden zelfontbranding en zelfontvlamming duidelijker te doen worden, dan zij in het gewone spraakgebruik zijn; zoodat men elkander beter kan verstaan.

b. De verschillende soorten aan te wijzen, die onder dien naam mogen worden begrepen.

c. Buiten te sluiten hetgene niet alzoo mag worden genoemd.

d. Maar terwijl wij dit beoogden, hebben wij, naar ons vermogen, tevens eene wetenschappelijke ontwikkeling gegeven van al datgene, hetwelk tot een juister begrip der zelfontbranding gevorderd wordt. Daarbij zijn telkens eigene voorbeelden ter verduidelijking gebezigd en, waar dit nuttig scheen, die voorbeelden bij voorkeur genomen uit voorwerpen, meer bepaald bij de verzending in schepen in aanmerking komende.

Thans moeten wij meer bepaald de artikelen behandelen, die voor de scheepvaart van gewigt zijn, *en onder zekere omstandigheden* in eene der drie bovengemelde rubrieken vallen.

a. ontbranding door of onder aanraking met lucht,

b. » » slagen, stooten of wrijven,

c. » » vermenging van verschillende stoffen. Hiervoor is in de meeste gevallen een wetenschappelijke onderzoek onnoodig geworden. Meestal toch zullen wij kunnen volstaan, door bij elk artikel naar een der drie rubrieken te verwijzen, waar dan de wetenschappelijke toelichting zal worden gevonden.

Evenzoo zal dikwerf daardoor beantwoord zijn *onder welke omstandigheden* de zelfontbranding zal kunnen plaats hebben.

Het behoeft naauwelijks opgemerkt te worden, dat aan eene *volledige* beantwoording der vraag: »Welke artikelen kunnen onder zekere omstandig- »heden zelfontbranding ondergaan" niet te denken valt. En toch moest men naar volledigheid trachten; want wordt er één artikel vergeten, en blijft dit voortaan buiten te treffen maatregelen ter verzending in schepen, dan zal dit

te eeniger tijd de bron van het kwaad worden, hetwelk men wil voorkomen.

En wie is in staat, van *alle* artikelen dit met zaakkennis vast te stellen, van *alle* artikelen, onder *alle* omstandigheden?

Hoe gewigtig deze aangelegenheid ook zij: ook hier kan het onmogelijke niet worden gedaan.

De vraag bepaalde zich intusschen slechts tot artikelen, die verscheept worden; die, welke op schepen niet, maar in pakhuizen of elders voorkomen, zijn niet in de vraag opgenomen.

Men heeft het ons nog gemakkelijker gemaakt, door alleen een antwoord te vragen aangaande die artikelen, welke van wege de Nederlandsche Handelmaatschappij en het Ministerie van Koloniën naar Oost-Indië verzonden worden; terwijl aan de Akademie bovendien van wege het Departement van Binnenlandsche Zaken nog andere gedrukte lijsten zijn overgelegd, waarop nog eenige andere artikelen staan uitgedrukt.

De vraag kwam nu voor, of wij ons bij deze lijsten mogten bepalen, of wij niet verder moesten gaan?

Het was zeker onze pligt, al hetgeen op die lijsten voorkomt, in overweging te nemen; maar er ons bij te bepalen, mogten wij niet. Uit den aard der zaak zijn die lijsten gebrekkig; bevatten zij niet alles, wat er al in eene scheepslading kan voorkomen, en kunnen zij dit niet bevatten. Maar bovendien beantwoorden die lijsten, door slechts *namen* te geven, zonder beschrijving of nadere aanduiding der voorwerpen, al zeer weinig aan het doel, waartoe zij bestemd zijn. Zonder twijfel komen de meest gevaarlijke en zeer dikwerf verscheepte stoffen *niet* op de lijsten voor; twee voorbeelden mogen ter toelichting voldoende zijn: *hooi* en *steenkolen.*

Maar bovendien verdienen de chemicaliën, droogerijen, kramerijen, geneesmiddelen eene eigene overweging, voorwerpen op de lijsten met eenen algemeenen naam, of ook zelfs niet eenmaal aangeduid.

De lijsten willen wij alzoo zorgvuldig overwegen, maar — zonder in uitvoerigheid te vervallen, wat ook na onze wetenschappelijke ontwikkeling geheel nutteloos zijn zou — de mogelijk voorkomende stoffen, hetzij afzonderlijk, hetzij onder bepaalde rubrieken aanwijzen.

Ten einde nu deze verschillende artikelen te behandelen, is het noodig, ze in zoodanige soorten te splitsen, welke in de toepassing de meeste waarde hebben. Daartoe leggen wij onze vroegere verdeeling weder ten grondslag en voegen daarbij drie andere rubrieken van wel verbrandbare, maar niet zelf-

ontbrandbare stoffen, als: zeer ligt ontbrandbare stoffen, zeer brandbare, maar niet ligt ontvlambare, en in brandbaarheid met hout te vergelijken stoffen.

Wij moeten hierbij niet verzuimen te vermelden, dat ons op de ontvangen lijsten sommige namen van voorwerpen, bij het ontbreken van alle nadere aanduiding, niet duidelijk voorgekomen zijn; daartoe behooren: armozijnen, arcanum, bodidaar, crimsonlak, colletas, camlet, karletten, kroozen, patjols, provisiën, ravens (smit coletas), zilveren fluweel. Voor het grootste deel mag deze onbekendheid wel aan ons liggen.

A.α. *Voorwerpen, die door opneming van zuurstof uit de lucht in staat van gloeijing kunnen geraken en daardoor dus ook nabijgelegen brandbare voorwerpen kunnen ontsteken.*

Wij hebben in ons boven medegedeeld onderzoek hier vooreerst de *pyrophoren* onderscheiden; ze hier op te geven kwam ons ondoelmatig voor, daar zij onder de meer gewoonlijk voorkomende objecten niet worden aangetroffen. Wat alzoo van al deze en soortgelijke vroeger besproken voorwerpen geldt, behoort niet meer te dezer plaatse.

Bijzondere vermelding behoeft het *zwartsel* en *poeder van houtskool.* De bijzondere omstandigheden, waaronder zij kunnen ontbranden, hebben wij bl. 14 uitvoerig vermeld. In kleine hoeveelheden zijn zij niet schadelijk, lang geleden bereid evenmin. Maar worden zij van olie doordrongen, zoo kan eene kleine hoeveelheid, zelfs van oud kolenpoeder, hoogst gevaarlijk worden. (Zie bl. 25).

Zeer uitgebreid wordt de reeks van voorwerpen, die hiertoe behooren, wanneer wij het oog werpen op *katoenen, linnen, wollen* en soortgelijke ligchamen, in welken vorm dan ook, *die met eene zich oxyderende olie* in meerdere of mindere mate, hetzij opzettelijk, hetzij toevallig doortrokken zijn. Zij worden dan zelfontbrandbaar, indien er slechts lucht genoeg kan toetreden. De hoeveelheid olie behoeft daartoe niet groot te zijn; — somtijds is zij zoo gering, dat zij naauwelijks wordt bespeurd, terwijl zij toch toereikende is, om zelfontbranding te doen ontstaan. (Zie bl. 21).

Het was de vraag — daar gelukkig zelfontbranding van zulke voorwerpen zeldzaam wordt waargenomen— in hoe verre wij regt hadden, hier uit de genoemde lijsten bepaald deze en gene als schadelijk of gevaarlijk aan te wijzen, zoodat wij noch ons aan overdrijving schuldig maken, noch aan het verwijt van ligtvaardige terzijdestelling; eene vraag, die telkens later herhaald kan worden.

Wij houden ons aan den inhoud van hetgeen boven dit gedeelte van het verslag gesteld is: namelijk de vermelding van die voorwerpen »welke onder »sommige omstandigheden zelfontvlamming *kunnen* voortbrengen."

De *drukinkt* en de *lithographische inkt* en de *zwarte verf* representeren de geheele volgende reeks in beginsel van werking en in uitwerksel. Daarop volgen dan: *Adrianopelsch rood geverwd of gedrukt katoen, dito garens, bont katoen, baai, dekens, andere gedrukte of geverwde katoenen, vlas, werk, pakwerk, koffijzakken, weefgoederen* (*in kleuren geweven katoen*).

Maar deze alle, behalve druk- en lithographische inkt, vallen uit deze reeks, indien zij vrij van oxyderende vetten zijn. — Kan men zich daarvan overtuigen, dan heeft men tevens de zekerheid, dat zij in deze reeks niet behooren. Maar hoe zal men zich deze overtuiging verschaffen? Op het uitwendig aanzien kan men ze niet onderscheiden, die tot gevaar kunnen aanleiding geven, en bij hunne inpakking behooren dus, al ontstaat het gevaar van zelfontbranding slechts spaarzaam, voorzorgen genomen te worden, die in overeenstemming zijn met het gevolg, hetwelk nu en dan niet achter blijft.

Voor sommige van deze voorwerpen heeft men het gevaar van zelfontbranding veel hooger aangeschreven dan voor anderen; maar daar de stoffen zelve niet de zelfontbranding voorbrengen — tenzij door broeijen, waarover hier onder nader — maar het eene vette olie is, die daartoe aanleiding geeft, zoo hebben wij vooral op de al of niet aanwezigheid van zulk eene olie te letten, minder met den aard der stoffen te doen.

Tegen *roode* garens gaan meer waarschuwende stemmen op dan tegen anders gekleurde. De waarheid is, dat daarvoor in het algemeen geen grond bestaat; want vetten worden bij de toebereiding van meerdere weefsels gebezigd dan bij roode. De opneming der genoemde voorwerpen te dezer plaatse en de aanteekening daarvan op de lijsten, die aan dit verslag zijn toegevoegd, mogen den schijn niet dragen van overdrijving van onze zijde. De genoemde voorwerpen *kunnen*, uit den aard der toebereidingswijze, of door toevallige omstandigheden, zeer kleine, naauwelijks merkbare hoeveelheden vetten bevatten, die tot zelfontbranding *kunnen* aanzetten. Maar dat dit hoogst zeldzaam gebeurt, heeft de ervaring gelukkig geleerd.

Oxyderende oliën in vaten kunnen tot geene zelfontbranding aanleiding geven; maar vloeit de olie, door eene het vat beledigende oorzaak uit, zoo wordt de aanraking tusschen olie en lucht vergroot, en zelfontvlamming kan ontstaan, vooral, wanneer de olie gekookte lijnolie is. Maar elke olie moet gevreesd worden. (Zie bl. 19).

Hetzelfde geldt van *lithographische* of *drukinkt*, van *zwarte en ander verwen* met zulke oliën aangemaakt, zoo als in den regel geschiedt.

De zelfontbranding zal hier uiterst gemakkelijk kunnen ontstaan, wanneer de uitvloeijende olie of verfstoffe over een los weefsel wordt verdeeld, b. v. over *vlas*, *katoen* en soortgelijken. (Zie bl. 21). Of *koolteer* mede hier behoort te worden opgenomen, meenen wij te mogen ontkennen; ons zijn althans geene voorbeelden bekend van hare zelfontbranding.

Of *gebrande eikels* steeds behooren tot de stoffen, die zich oxyderen en dien ten gevolge ontbranden kunnen, mag betwijfeld worden. De hard gebrande staan als zoodanig opgeteekend, alsmede andere gerooste voorwerpen, als *koffij*, *erwten* enz. (Zie bl. 18). Zooveel is zeker, dat indien de roosting verre is voortgezet, tot verkoling toe, zelfontbranding daaruit ontstaan kan. (Zie bl. 19).

Wij mogen niet verzuimen te vermelden, dat al deze voorwerpen door vocht niet in vermogen, om van zelf te ontbranden winnen, maar daarentegen daarin verliezen. Men verwarre alzoo die oxyderende werking niet met broeijen der voorwerpen, welk broeijen wel door vocht bevorderd wordt. Water, door een lek in het schip, of op andere wijze tot de voorwerpen van deze reeks toegetreden, zal dus de zelfontbranding, die zij kunnen ondergaan, tegenstreven; terwijl de zelfontbranding der broeijende voorwerpen daardoor juist zal worden bevorderd: een onderscheid, hetwelk niet genoeg kan onder het oog gehouden worden en hetwelk de HH. Muller en Matthes hebben voorbij gezien in hunne bovenaangehaalde, overigens zeer lofwaardige verhandeling.

Poreuse voorwerpen, als *krijt*, *gips*, *coaks* en anderen, zullen, indien zij toevalliger wijze met een der genoemde *olieachtige* zelfstandigheden doortrokken worden, het vermogen dezer laatsten om te verbranden aanzienlijk ondersteunen. (Zie bl. 23).

Dit zelfde geldt van *hooi*, *zaagsel* of *stroo*, waarin deze of andere voorwerpen, in glazen flesschen bevat, worden gepakt, met het doel om beschadiging te voorkomen. Zoolang de flesschen gesloten en onbeschadigd blijven, beschutten zij werkelijk; maar het gevaar wordt aanzienlijk door deze losse of poreuse voorwerpen vergroot, indien de flesch, door welke oorzaak dan ook, geopend wordt en er van den inhoud uitvloeit. En dit geldt niet alleen hier, maar zooveel te meer nog bij stoffen, waarvan hieronder sprake is, die wij bij *C* zullen behandelen.

A. β. *Voorwerpen, die door broeijen zich kunnen verhitten en, in aanraking met lucht, vlam kunnen vatten, en dus ook nabij gelegen andere brandbare voorwerpen kunnen ontsteken.*

Hiertoe behooren in meerdere of mindere mate alle meer of min gedroogde, uit los plantenweefsel bestaande voorwerpen; derhalve alle, in massa opeengepakte, meer of min, maar niet sterk gedroogde *kruiden* en *bloemen*; in kleine hoeveelheid en goed gedroogd, zijn zij — mits zij niet weder met vocht kunnen worden bedeeld — in brandbaarheid met hout te vergelijken. Opzettelijk hebben wij daarom in deze rubriek niet die vele, op de gedrukte lijsten voorkomende, geneeskrachtige kruiden en andere soortgelijke opgenomen; omdat zij, hoezeer voor broeijing vatbaar, spaarzaam in zulke massa's zullen verzonden worden, dat daarvan zelfontbranding kan ontstaan.

De vraag, of *zaden, granen,* b. v. in eene scheepsruimte in warme gewesten bevat en door water bevochtigd, broeijen kunnen, is bl. 28 reeds beantwoord. Tot zelfontbranding klimt het verschijnsel echter nooit. Maar de warmte, die daarbij ontwikkeld wordt, kan het broeijen van andere voorwerpen bevorderen, b. v. dat van vlas, ruw linnen enz., waardoor deze laatste ligter tot ontbranding kunnen overgaan. Voorts kunnen door de broei-temperatuur van ontkiemende zaden met olie bedeelde weefsels worden verwarmd, die daardoor op hunne beurt zuurstof sneller uit de lucht kunnen opnemen en alzoo ligter tot zelfontbranding kunnen komen.

Maar alle overweging verdient hier *hooi,* hetgeen wel niet op de lijsten voorkomt, maar zeer menigvuldig op schepen in massa wordt vervoerd. (Zie bl. 29). Hieraan sluiten zich onmiddellijk *hennip, vlas,* soortgelijke versche onbewerkte ligchamen. In meerdere of mindere mate ook bewerkte, maar niet uitgetrokkene of niet gereinigde, daaruit bereide voorwerpen, als *koffijzakken, los touwwerk, ruwe garens, ruw linnen, ruw doekwerk, kardoessaai, werk, pakwerk, ruwe katoenen.*

Zijn deze goed gedroogd en blijven zij droog, zoo zullen zij niet ontbranden. Maar wie waarborgt voor een van beide? Hoe verscher zij zijn, hoe meer zij tot broeijing aanleiding geven.

De vraag kan opgeworpen worden, of wij wel doen, alle bereide, alle verwerkte, gebleekte en dus met water behandelde katoenen en linnen en wollen en zijden voorwerpen hier buiten te sluiten, alsmede die, welke eerst gebleekt en gereinigd en daarna verder verwerkt zijn, geverwd b. v. gedrukt, geweven enz.

Wij meenen inderdaad daartoe in de meeste gevallen regt te hebben. Hier toch handelen wij over broeijing, dat is over eene scheikundige wisseling der bestanddeelen in deze voorwerpen voorkomende, eene wisseling, die zoo sterk worden kan, dat er eene tot onvlamming voldoende temperatuur door wordt ontwikkeld. Gebleekte plantaardige of dierlijke voorwerpen, met water en andere stoffen ruim behandeld, hebben of de stoffen verloren, die werkzaamheid, die broeijing kunnen opwekken (de vroeger genoemde giststoffe), of deze zijn geheel of grootendeels in eenen toestand gekomen, van niet meer die opwekking te kunnen voortbrengen. Ook die zelfstandigheden, welke vooral de broeijing kunnen ondergaan, zijn aangetast of verwijderd geworden.

Naar ons oordeel kunnen de gebleekte genoemde voorwerpen die broeijing zelden of nimmer meer ondergaan en deze meening wordt door de wetenschap volkomen geschraagd. (Zie bl. 55).

Bijaldien zij nu, na geverwd of bedrukt te zijn, nog zelfontbranding voortbrengen, is dit zeker niet, of slechts bij uitzondering ten gevolge van broeijing, maar ten gevolge van oxydatie van vette of andere stoffen, die er onder het verwerken in zijn gebragt. Dan behooren zij niet tot deze afdeeling, maar tot de eerste; waarover reeds is gesproken.

Zoo als vroeger uitvoerig besproken is, bevordert water de broeijing; vocht is daartoe onvermijdelijk.

B. *Voorwerpen, die door slaan, stooten of wrijven ontbranden kunnen, en hunne ontbranding aan brandbare voorwerpen kunnen mededeelen.*

Op de lijsten komen zeer weinig voorwerpen voor, die tot deze reeks behooren: zij zijn vooreerst de *slaghoedjes*, het *buskruid* en *de lucifers*, die tegenwoordig wel op geen schip zullen ontbreken. Voorts *phosphorus*, die in massa kan voorkomen, en hoezeer niet op de lijsten te vinden, zonder twijfel toch als chemisch praeparaat nu en dan in ruime hoeveelheid verzonden wordt. Het is waar, de phosphorus wordt dan onder water verzonden. Maar dezelfde oorzaak, die de flesch, waarin dit water met den phosphorus bevat is, kan doen breken — b. v. het stooten of nedervallen der kisten, waarin zij besloten is — kan ook den phosphorus genoegzaam wrijven, om hem te doen vlam vatten, of wel hem later, wanneer het water weggevloeid is, met voorwerpen in aanraking brengen, waarmede hij zelfontvlamming kan voortbrengen. Die voorwerpen zijn papier, katoen enz., die bij de warmte in het schip, dat in heete

gewesten zeilt, door aanraking met zich aan de lucht oxyderenden phosphorus kunnen in brand geraken.

Voorts kan deze reeks nog worden aangevuld door die voorwerpen, welke wij hier boven in ons wetenschappelijk onderzoek tot voorbeelden van deze soort van zelfontbranding hebben aangevoerd, en die wij hier niet behoeven te herhalen. (Zie bl. 54).

Terwijl wij naar het vroeger behandelde verwijzen, ten aanzien van de ligchamen, die door wrijven of stooten of slaan kunnen ontbranden, moeten wij echter nog bepaald hier — behalve de *slaghoedjes*, het *buskruid* en *de lucifers* — vermelden de voorwerpen, die *fulminas argenti* bevatten en nevens chocolaadjes of andere lekkernij ingepakt worden. Onder welken naam deze worden verzonden is ons onbekend; maar verzonden zullen zij nu en dan worden, daaraan is niet te twijfelen.

Voorts komen hier sommige dier voorwerpen voor, die men onder de namen van *chemicaliën, droogerijen* of *kramerijen* verzendt, en wier onbestemde aanduiding te meer tot omzigtigheid verpligt, omdat hun naam zelf onschuldig schijnt. Wij achten het echter onnoodig hier eene specifieke opgave dier voorwerpen te doen, daar wij in het volgende deel van ons verslag al die stoffen, onder zulke namen opgegeven, onder de verdachten zullen moeten opnemen, als het eenige middel, om mogelijke onheilen, die zij kunnen voortbrengen, te voorkomen.

C. *Voorwerpen, die door vermenging ontbranden kunnen, die derhalve niet nabij elkander mogen gepakt of verscheept worden; ook zij kunnen aan nabij gelegen brandbare voorwerpen den brand mededeelen.*

Tot deze reeks brengen wij vooreerst *acidum nitricum*, vermengd wordende met *vlugtige oliën*, als *terpentijnolie, peterselieolie* en vele anderen. Dit zuur moet als eene gevaarlijke stoffe worden beschouwd. Voegt er zich bovendien nog *vitrioololie* bij, zoo is de werking des te heviger. De gewone naam van dit zuur is *sterkwater*. Voorts het *zwavelzuur* zelf, hetwelk, met zeer onderscheidene stoffen in aanraking, eene hooge temperatuur ontwikkelt, en deze, indien zij brandbaar zijn, ligt kan doen vlam vatten, zoo als: *phosphorus*, of *lucifers*, of *chloras potassae*, met papier of soortgelijke stoffen in aanraking; maar ook met *vet* meer of min doortrokken *katoen, linnen* en weefsels met *harsachtige* stoffen bedeeld, zoo als *touwwerk* enz.

Potassium kan met water niet in aanraking komen, of het vat vlam en ontsteekt alle brandbare stoffen. *Bromium,* zagen wij vroeger, doet *phosphorus* eensklaps ontvlammen.

Maar wij moeten hier vooral de *steenkolen,* door *water* getroffen, vermelden; wij hebben intusschen in ons wetenschappelijk onderzoek hierboven van de steenkolen, die door water kunnen in brand geraken, genoegzaam gesproken; zoodat wij dit hier niet behoeven te herhalen. (Zie bl. 42).

Van het *zeezoutzuur* (*acidum muriaticum* of *hijdrochloricum*) hebben wij opzettelijk tot nu toe geene melding gemaakt, hoezeer het op de lijsten voorkomt; omdat de stoffen, waarmede dit zuur vermengd eene zeer groote hitte kan voortbrengen, niet ligt daarmede in eene scheepsruimte zullen voorkomen. En die hitte brengt nog geene verbranding voort. Intusschen is zulk een geval toch denkbaar; b. v. zeezoutzuur, op kalk vloeijende, kan zooveel warmte ontwikkelen, dat phosphorus of buskruid daardoor vlam vatten kan.

Reeds kalk alleen, door water gebluscht, kan dit doen, en boven (bl. 44) hebben wij reeds vermeld, dat daarbij buskruid kan ontbranden. In elk schip, waarin ongebluschte kalk voorkomt, behoort men — zoo als wel bekend is — het water verwijderd te houden.

IJzervijlsel en zwavelbloemen, met water bevochtigd, kunnen vlam vatten (bl. 41); maar wij hebben hier niet te herhalen, wat wij van vele voorwerpen vroeger reeds hebben opgeteekend. (Zie bl. 45).

D. *Zeer ligt ontvlambare of ontbrandbare voorwerpen, die, hoezeer zij den naam van zelfontbrandbare stoffen in geen opzigt verdienen, echter in een schip alle omzigtigheid vereischen, omdat zij zoo ligt ontstoken worden.*

Tot deze reeks brengen wij *aether sulphuricus, spiritus nitri dulcis, hoffmans-druppels, alcohol, buskruid, chloroform, collodium, kreosoot, oleum chamomillae, ol. menthae pip., oleum terebinthinae en alle andere etherische oliën, geteerd touwwerk, lijnen, zwam, reukwerk, parfumeriën, eau de Cologne.*

Sommige van deze stoffen zijn vlugtig, b. v. de ether, zoodat eene vlam reeds op een afstand den damp daarvan in brand zet. Is deze damp met lucht gemengd en dit mengsel in eene beslotene ruimte bevat, zoo ontploft dit mengsel met geweld. In *Bern* stortte eenmaal een huis in, door dat

in eenen kelder, waarin eene flesch met ether gebroken, en de ether daarmede verdampt en met de lucht gemengd was, eene brandende kaars werd ingebragt.

Buskruid is op verre na zoo gevaarlijk niet aan boord als ether. En niet slechts behoort hiertoe de gewone ether, maar *alle* ethersoorten, in meerdere of mindere mate; dus ook Hoffmann's *druppels, spiritus nitri dulcis* en anderen, die ethersoorten zijn, met alcohol gemengd.

In het zelfde geval zijn *collodium*, eene stoffe in ether en alcohol opgelost. Voorts *chloroform*, die even als *alcohol, eau de Cologne, reukwerk, parfumeriën, kreosoot* en *vlugtige oliën*, brandbare dampen geeft en alzoo, door met een brandend ligchaam op zekeren afstand genaderd te worden, vlam kan vatten.

Van *zwam, geteerd touwwerk, breeuw-* of *calfaadwerk*, vooral wanneer het los is van weefsel, is het bekend, dat de kleinste vonk het kan ontsteken.

De meeste dezer voorwerpen vorderen bij de verzending eigene voorzorgen, waarover wij hieronder handelen.

Ook deze lijst behoeven wij niet meer uit te breiden, dan door het opnemen van de genoemde voorwerpen geschied is. Voor zooverre zij als *droogerijen* of *chemicaliën* worden verzonden, vallen zij later weder onder de verdachte stoffen.

E. *Zeer brandbare, maar daarom nog niet ligt ontvlambare stoffen, die den eenmaal ontstanen brand zeer kunnen verhoogen.*

Wij kunnen deze verdeelen in meer of min vlugtige en niet vlugtige. De eersten vatten dus ligter vlam, dan de laatste.

a. Balsamum Copaïbae, liqueuren, brandewijn, spiritus vini, jenever, arak, cognac, rum, terpentijn (venetiaansche), vernissen.

b. Amandelen (en andere vette zaden, lijnzaden enz.) *asphalt, arabische gom, pulvis gummosus* (en andere gommen), *bitumen, boter* (en alle andere dierlijke en plantaardige vetten, vette oliën enz. dus *olijvenolie, lijnolie* enz. enz.), *caoutchouc* (elastieke gom, dus ook bougies, daaruit gemaakt), *gutta percha, hars* (alle harsen zonder onderscheid), *zegellak* (en alle organische lakken zonder onderscheid), *harpuis, koffij, lupuline, lycopodium, meel* (alle meelsoorten), *oleum jecoris aselli* (en alle reeds genoemde vette oliën), *sebum ovillum* (insgelijks reeds genoemd), *pik, semen Anisi, sem. Coriandri minoris,*

semen Foeniculi, semen Santonici (en alle andere zaden, die eene vlugtige olie bevatten) alsmede basten, die deze en harsen bezitten, als *cascarilla, kaneel, spek* (reeds bij de vetten genoemd), *syroop, suiker, sandarak, elemi, schellak* (reeds bij de harsen aangeduid), *stearine kaarsen, tros* (geteerd), *traan, teer, amber, was, waschkaarsen* (en andere kaarsen), *zwavel, zwavelstokken, gewast linnen, gewaste taf, jeneverbessen, coaks, koolteer, verschillende verwen, styrax* en *balsems* in het algemeen.

Dat ook deze lijst nog aanmerkelijk zou kunnen worden vermeerderd, behoeft evenmin te worden aangewezen, als dat de brandbaarheid van al deze stoffen zeer verschilt. Geene van alle kan met een brandend ligchaam eenigen tijd in aanraking zijn, of het vat vlam en gaat voort te branden met meerder of minder hevigheid.

Vooral zijn gevaarlijk onder de niet vlugtige, de smeltbare. Geraken deze in brand, dan vormen zij een loopend vuur, zoo als b. v. de harsen, pik, lak, maar ook de suiker; getuige de brand in suiker-raffinaderijen.

F. *Stoffen, in brandbaarheid met hout en touwwerk vergelijkbaar.*

De enkel of voornamelijk uit hout bestaande voorwerpen zijn hier, als genoegzaam bekend, niet bij opgenomen.

Daartoe brengen wij dan *bindtouw* en alle soorten van ongeteerd, en vetvrij *touwwerk, linnen, katoen, garen, leder,* of voorwerpen daaruit gemaakt, alle niet met vlugtige oliën of harsen of vetten bijzonder bedeelde *gedroogde plantendeelen,* als *kruiden, basten, wortels; dierlijke voorwerpen* als *muskus* en *sponsen; pergament, papieren* of *kartonnen* voorwerpen; *zijden* voorwerpen, mits vrij van vette, zich oxyderende oliën; uit *wol* of *haar* vervaardigde voorwerpen, dus *lakens, dekens* enz. mits wederom niet met zulke vetten bedeeld.

Deze alle op te noemen hebben wij onnoodig geacht; zij zijn op de bijgevoegde lijsten aangeteekend met de letter *f*.

III.

MAATREGELEN VAN VOORZORG, UIT HET VOORAFGEGANE ONDERZOEK VOORTVLOEIJENDE, TOT WEGNEMING VAN BIJ HET VERVOER VAN ARTIKELEN VEROORZAAKTE GEVAREN VOOR VEILIGHEID VAN LADING EN SCHIP.

Zal het onderzoek, hetwelk wij in het werk stelden en hetwelk de uitkomst was van eenen schat van ervaringen, op verschillende wijze door zeer onderscheiden mannen van wetenschap en toepassing verkregen, eenige waarde hebben, dan behooren middelen te worden gevonden, waardoor de groote bezwaren, die besproken zijn, zoo veel mogelijk kunnen worden voorgekomen.

Het is zoo, er heerscht verschil in de waardering der feiten. Zelfs van de drie schepen, die in het vorige jaar op de reis naar Java verbrand zijn, is de vraag niet volkomen beantwoord, of die verbranding wel aan zelfontbranding mag worden toegeschreven. En — voert men verder aan — wanneer dat al het geval mogt zijn: hoevele jaren verstrijken er niet, zonder dat men van zulke onheilen verneemt? Men stelt zich het gevaar te groot voor en maakt zich schuldig aan overdrijving, wanneer men thans, nu dat onheil toevallig mag ontstaan zijn, voor handel en scheepvaart belemmerende bepalingen zou willen uitlokken.

Ons oordeel is een geheel ander. Gesteld eens, er ware nog nimmer een schip verongelukt door zelfontvlamming van een deel der lading — en helaas! is dit niet te beweren — dan meenen wij, dat thans de oogen geopend zijn voor de waardering der grootste gevaren, die zich *op den vasten wal* ontelbare malen hebben vertoond. Met andere woorden: het verschijnsel *zelfontbranding* is overvloedig bekend; daardoor werd menige fabriek, menig gebouw in de asch gelegd, en dit was het gevolg van stoffen, die ook in schepen vervoerd worden en welke schepen derhalve nu en dan door deze oorzaak moeten vergaan. Men heeft groot verzuim gepleegd, door deze zaak zoolang buiten de aandacht te laten; thans nu er de aandacht op gevestigd wordt, is het pligt, haar met dat gemoed op te vatten, waarmede men in eenen beschaafden staat gaarne waakt voor het heil der inwoners. Een verzuim zou van nu of aan veroordeelingswaardig zijn; omdat het lang bekend was en thans tot bewustheid gekomen is, dat zelfontbranding voor en na op schepen zoowel menschenlevens als lading en schip bedreigen kan.

Daarmede is echter nog niet beslist, dat er maatregelen van wege de Regering tegen zullen moeten genomen worden. Men kan erkennen, dat er bezwaren bestaan, dat noch de adressanten van Amsterdam, noch de schrijvers der aangehaalde brochure zich aan overdrijving hebben schuldig gemaakt, maar dat de Regering er zich niet mede behoort te bemoeijen; dat zij hoogstens de zaak wetenschappelijk moet doen onderzoeken en het dan aan elken reeder moet overlaten, of hij van dat onderzoek gebruik maken wil, en zoo ja, hoeveel gebruik hij er van maken zal; want — zoo beweert men — de Nederlandsche handel zou anders, door altoos meer of min belemmerende maatregelen, komen te lijden en men zou naar elders datgene heenrigten, wat thans door Nederlandsche schepen wordt overgebragt. Men meent, en te regt, dat — bijaldien men niet de uiterste gestrengheid, bij te nemen maatregelen, in het oog hield, ligtelijk een voorwerp, eene baal, en juist eene gevaarlijke, zou kunnen worden voorbij gezien, en men is voor de gevolgen van die gestrengheid vooral nu beducht, nu aan het handelsverkeer eene zoo veel grootere vrijheid is toegekend. Men vraagt: hoe men met vreemde schepen in dezen zou moeten handelen, en herinnert, dat de Nederlandsche schepen nadeel zouden lijden, indien ook de vreemde schepen niet in de maatregelen van voorzorg zouden worden opgenomen. Men wil zich niet onbepaald tegen eene Wet verklaren, waarbij maatregelen van voorzorg worden voorgeschreven, maar vreest *of* belemmeringen voor den handel, die nadeelig zullen werken, *of* eene ruime ontduiking der wet. Daarentegen verwacht men alles van de individuele belangstelling der belanghebbenden, die nu behoorlijk gewaarschuwd zijn, terwijl anderen van de Regering ernstig verzoeken, om alles aan die individuele belangstelling over te laten. Deze meenen, dat zulke branden in schepen van tijd tot tijd overal plaats hebben, en dat maatregelen daartegen welligt zoo gevaarlijk zouden kunnen werken, als het kwaad, dat men zoekt te voorkomen; iets wat wel niet in den eigentlijken zin der woorden zal kunnen opgevat worden.

Vele van deze gronden mogen wij achten buiten onze bemoeijingen gelegen te zijn. De Koninklijke Akademie van Wetenschappen kan noch mag zich inlaten in eene beoordeeling daarvan. Maar op haar rust toch de verpligting, te zoeken naar zoodanige voorbehoedmiddelen, die hetzij dan van Regeringswege geëischt, hetzij van het gemoed van elken reeder van zelf gewenscht, eerst dan met vrucht zullen kunnen toegepast worden, indien men ze met zorg heeft nagegaan.

Voor de van wege de Nederlandsche Handel-Maatschappij of voor het Departement van Koloniën verzonden artikelen kan de Regering zeker voorschriften maken, die heilzaam kunnen zijn.

In de overweging van het gewigt der zaak, scharen wij ons dan ook aan de zijde der Amsterdamsche reeders, die deze teedere aangelegenheid het eerst hebben ter sprake gebragt, en aan de zijde van H.H.E.E. de Ministers van Binnenlandsche Zaken en Koloniën, die haar met een warm hart hebben opgenomen.

Neen! een achtingswaardig gezagvoerder van eenen op de golven dobberenden bodem, moet met zijne manschap niet buiten bescherming blijven van kennis en wetenschap, van ervaring en toepassing. Hem van nu af aan goederen te doen opnemen, waarvan de mogelijkheid bestaat, dat zij, als het ware verraderlijk het leven van hem en zijne onderhoorigen zullen kunnen verwoesten, zonder dat zijne waakzaamheid iets baten kan, ware telkens verraad gepleegd, wanneer men hem verpligt, alles op te nemen in zijn schip, zonder waarborgen, die verkregen kunnen worden.

Wij voor ons, wij hebben ons niet in te laten met een onderzoek naar de oorzaken van brand in de schepen: *Koning Willem II, Laura en Adèle* en *Wena:* het staat vast, dat nu en dan schepen verbranden moeten door zelfontbrandbare, daarin geladen goederen, en dat een verzuim, om daartegen maatregelen te treffen, zou gelijk staan met het toelaten van het gebruik van schepen, die zoo oud zijn, dat zij mogelijk geen gewonen storm kunnen doorstaan.

Maar waarom zoo lang stil gestaan bij de vervulling van eenen last, door de Koninklijke Akademie aan ons gegeven, die op hare beurt dien last van de Hooge Regering ontving? Omdat men niet zelden gewoon is, bij elk wetenschappelijk onderzoek, hetwelk in de toepassing eenige moeijelijkheden veroorzaakt, dat onderzoek van overdrijving te beschuldigen, vooral wanneer het handel of scheepvaart betreft; omdat wij naar onzen pligt, de Regering reeds bij voorbaat moeten trachten vrij te waren van de aanmerkingen, die zij bij elken goeden maatregel te wachten heeft, welken zij in dezen zal willen nemen; omdat wij onze overtuiging duidelijk willen uitspreken, dat het verzuim van maatregelen tot hiertoe aan geene natie, die de zee bebouwt, tot eere verstrekt, ook aan onze natie niet; maar dat van nu af aan het verzuimen van maatregelen, pligtverzuim wezen zou. Eindelijk, omdat het verschijnsel der zelfontbranding in de wetenschap volkomen bekend is, en dus alhier slechts uit het oogpunt van te nemen maatregelen ter sprake komen kan.

Maar te nemen maatregelen en *wettelijke bepalingen* zijn geene woorden van dezelfde beteekenis. Omtrent de laatsten achten wij ons onbevoegd eenig voorstel te doen; wij beoordeelen niet of de wetgeving al of niet tusschen beiden komen moet, want zulk eene beoordeeling ligt buiten den kring der Akademie. Wij beoordeelen niet *wie* de maatregelen zal voorschrijven en handhaven; wat wij tot onzen pligt achten, is het aanduiden van maatregelen van voorzorg, wier noodzakelijkheid uit het voorgaande onderzoek duidelijk genoeg gebleken is.

Ten einde ons van den opgedragen last in dezen te kwijten, willen wij ons ook bij dien last uitsluitend bepalen en de *elementen* van zulke maatregelen trachten aan de hand te doen, waardoor naar de tegenwoordige kennis, zelfontbranding of niet kan ontstaan op schepen, of zoo zij ontstaat, zonder gevaar voor menschenlevens, voor lading en schip blijven kan.

Wij gaan hierbij uit van de stelling, dat er geene enkele zelfstandigheid ooit zal worden geweigerd ter vervoering. Mogten wij die stelling opofferen, zoo ware buitensluiting van de meest gevaarlijke het afdoende middel. Maar handel en scheepvaart moeten niet worden belemmerd.

1°. Zal in een schip *alles* opgenomen worden, wat men ter vervoering aanbiedt — en zoo geschiedt het thans — dan moet men ook *alles* door deskundigen doen onderzoeken.

Ziedaar een eerste regel, dien wij moeten vaststellen, zullen niet alle verdere maatregelen verijdeld worden. Gaat men toch enkel op verklaringen af van de inzenders, dan is men dobberende tusschen eerlijkheid en misleiding.

Hoe verre dit onderzoek gaan moet, behoeft hier niet vermeld te worden, evenmin als hoedanig dit behoort te geschieden. Is toch de aard van het voorwerp volkomen onschadelijk; kan de inzender daarbij geene schadelijke voorwerpen hebben opgenomen; is die inzender uit den aard van zijn persoon niet in staat in dezen te misleiden: waartoe dan onderzoek?

Onderzoek derhalve, waar men meer waarborgen noodig heeft, dan die uit enkele kennisneming voortvloeijen; geene algemeene termen meer voor voldoende gehouden, als *kramerijen, droogerijen* en *chemicaliën* — geene verzending meer van eenige kist, of baal of welk voorwerp dan ook, zonder eene specifieke opgave van den inhoud, tot in de kleinste bijzonderheden, en onderzoek naar de waarheid dier opgave, voor zoo verre men reden meent te mogen hebben daaraan te twijfelen, en dit niet slechts uit te strekken

over als vrachtgoederen verscheepte goederen, maar ook over goederen van passagiers. Wij behoeven niet stil te staan bij de onmisbaarheid van deze kennisneming. Hoe zal men toch eene verpakking verpligtend maken van schadelijke voorwerpen, om die daardoor onschadelijk te maken; hoe nabij elkander geplaatste schadelijke voorwerpen, door verwijdering van elkander onschadelijk maken; indien men niet weet wat men laadt?

Maar zullen daaruit geene onoverkomelijke hinderpalen voor handel en scheepvaart ontstaan? Eenig bezwaar voorzeker, maar overkomelijk. De verzender weet wat hij verzendt, hij kan dus de opgave doen; het beoordeelen naar het al of niet schadelijke dier voorwerpen wordt en uit dit verslag en uit de lijsten opgemaakt, welke uit dit verslag zullen voortvloeijen. Eene inspectie der voorwerpen zelve zal tot de uitzonderingen behooren, en bepaalt zich noodwendig niet tot het meerendeel der objecten. Alle metalen, houten, glazen voorwerpen en nog zoovele anderen behoeven nimmer te worden onderzocht, tenzij men misleiding mogt mogelijk achten; suiker, koffij en vele andere handels-artikelen behoeven nimmer te worden onderzocht. Het onderzoek bepaalt zich dus bij verdachte of als schadelijk bekende stoffen, en onoverkomelijk schijnen de bezwaren niet, die daaraan verbonden zijn.

2°. Uit het onderzoek, in verband met elk ander middel van kennisneming, vloeit dus voort: dat men wete, wat in het schip zal geladen worden, tot in de kleinste bijzonderheden, uit het oogpunt der zelfontbrandbaarheid.

Die verkregen kennis geeft het middel aan de hand, om de voorwerpen te verdeelen in de rubrieken a, b, c, d, e, f, welke wij hierboven hebben onderscheiden. En die verdeeling is noodzakelijk, zoowel uit het oogpunt

a. van verpligte verpakking voor de schadelijken,

b. van verwijdering van elkander, voor zoo verre zij door vermenging elkander kunnen schaden,

c. van berging op eigene plaatsen in het schip, waar mogelijk ontstane verbranding kan worden ontdekt en welligt ook met vrucht kan worden bestreden.

Die schifting in de rubrieken, boven genoemd, deed ons zoowel niet-zelfontbrandbare als zelfontbrandbare stoffen opnemen; omdat er inderdaad, onder de eerste, voorwerpen voorkomen, wier verpakking, verwijdering van anderen, of verplaatsing op bepaalde plaatsen in het schip, van zoo veel gewigt is, als van de zelfontbrandbare.

Ten aanzien van dit tweede punt bepalen wij ons bij eene klassificatie van alle voorwerpen, in de 6 genoemde rubrieken:

a. zelfontbrandbare door aanraking met lucht,
b. » » » stooten, slaan of wrijven,
c. » » » vermenging met anderen,
d. niet zelfontbrandbare maar ligt ontvlambare,
e. » » » maar zeer brandbare,
f. » » » maar in brandbaarheid met hout en touwwerk te vergelijken.

3°. Een derde maatregel van voorzorg is de verpligte verpakking van schadelijke of verdachte stoffen.

Tegen dezen maatregel kan geen redelijke grond worden ingebragt; *a* wanneer de voorwerpen zelve klein in omvang zijn; *b* wanneer hunne verzending, hetzij door mogelijke zelfontbranding, hetzij door groote mate van ontvlambaarheid, voor lading en schip gevaarlijk worden kan.

Wanneer de voorwerpen klein in omvang zijn, kan eene eigene verpakking geen bezwaar opleveren, al zijn er ook eenige onkosten aan verbonden.

De vraag blijft, welke voorwerpen men onder dezen naam begrijpen kan? Het spreekt wel van zelf, dat hier geene scherpe grenslijnen kunnen getrokken worden. Men zou van gewoonlijk in kleine hoeveelheden verzonden stoffen, eens eene grootere hoeveelheid kunnen willen verzenden; eene maat is er derhalve voor deze niet aangegeven. Maar er zullen toch verschillen blijven bestaan tusschen de hoeveelheden te verzenden katoen en chloras potassae, van suiker en van aether sulphuricus.

Onder de maatregelen van voorzorg ten opzigte der verpakking, stellen wij dan op den voorgrond: insluiting in eigen metalen vaten van die voorwerpen, welke op eenigerlei wijze tot zelfontbranding aanleiding zouden kunnen geven en in klein bestek voorkomen. Naarmate de hoeveelheden zijn, kunnen dit blikken of ijzeren vaten wezen; in beide gevallen geheel en al gesloten, zoodat zelfontbranding, wanneer die mogt ontstaan, niet naar buiten oversla, maar als gesmoord worde. De stoffen zelve kunnen eerst in fleschen, of potten, of kruiken of doozen gepakt zijn, naar haren verschillenden aard.

Daartoe behooren dan A$^{\alpha}$. *drukkersinkt, lithographische inkt, de oxyderende*

oliën bl. 19 opgenoemd, *zwarte en andere verwen, hard gebrande en geroostc voorwerpen* als *eikels, koffij, erwten, poedervormige kool, houtskool.*

Deze en de na te melden stoffen kunnen meerendeels gepakt worden, zooals het wordt gevorderd voor de veiligheid, dat is in metalen vaten, waardoor zij dan — omdat de lucht afgesloten gehouden wordt — niet tot zelfontbranding kunnen geraken, maar ook tevens onttrokken zijn aan vermenging met andere stoffen en alzoo het bezwaar in een ander opzigt verminderen.

Het kon ons niet in de gedachte opkomen, om de volgende stoffen, die tot deze zelfde reeks behooren, ook in blikken of ijzeren vaten te besluiten: *Adrianopelsch rood, geverwd of gedrukt katoen, dito garens, bont katoen, baai, dekens, andere gedrukte of geweven katoenen, laken, molton dekens, naaigaren, ruwe katoenen, vlas, werk, pakwerk, weefgoederen.* Voorts: *groote hoeveelheden houtskool, coaks, massa's gebrande eikels, koffij, erwten.* Bij deze is het middel van insluiting van zeer groote hoeveelheden onuitvoerbaar. En juist groote hoeveelheden brengen in dezelfde en nog in ruimere mate het gevaar van zelfontbranding voort.

Sommigen voorzeker kunnen in digte houten vaten worden besloten, als *gebrande eikels, houtskool,* enz. en hoezeer deze houten vaten nimmer aan al die voorwaarden voldoen, waaraan metalen vaten voldoen kunnen, sluit men toch de lucht af, houdt men ze toch bijeen, kan men derhalve, bij ontdekte ontvlamming, ze mogelijk nog eensklaps verwijderen.

Maar daarmede is men nog niet zoo gebaat als het wenschelijk is. Aan eene doelmatige verpakking van de linnen, katoenen en wollen voorwerpen, die welligt met eene oxyderende olie bedeeld zijn, zoodat, bij ontstane zelfontbranding, die in een vat, waarin de stoffen geplaatst zijn, worde gesmoord — valt niet bij zulke massa's te denken, als veelal vervoerd worden.

Wat hier overblijft komt, naar ons inzien, op twee middelen van voorzorg neder.

Wanneer men het in de magt heeft, om deze voorwerpen eerst lang aan de lucht blootgesteld te houden, vóór zij worden ingepakt, zoo verliezen zij alle het vermogen van zelfontbranding, of zij verbranden juist dan bij die blootstelling aan de lucht en alzoo vóór zij worden gepakt. Eene uitspreiding, een ruim uithangen in de lucht op eene warme plaats, van geverwde linnen, katoenen voorwerpen, maar ook van houtskool, zwartsel, gebrande eikels, in een woord van al de stoffen, die wij opnoemden in deze reeks, is in staat, het gevaar van zelfontbranding daaraan geheel te ontnemen. De

poedervormige voorwerpen, b. v. zwartsel, houtskool, coaks enz. verzadigen zich daarbij geheel en al met zuurstof. Zij doen dit zoodanig, dat zij bij een later contact met de lucht, niet meer daar van opnemen en zich dus ook niet meer daardoor verwarmen kunnen. Doen zij dit niet, zoo is wel ontsteking op de gewone wijze, maar geene zelfontbranding mogelijk.

Volkomen in hetzelfde geval verkeeren de geroostc voorwerpen, die ook alleen, door opslorping van zuurstof, zich verhitten kunnen, en alzoo, door aan de lucht ruim blootgesteld te worden, zoo veel zuurstof opnemen als zij kunnen, en derhalve later onmogelijk meer kunnen opnemen.

Eindelijk verkeeren al weder in hetzelfde geval de wollen, katoenen en linnen voorwerpen, die met eene vette oxyderende olie in meerdere of mindere mate zijn bedeeld. Zij nemen, vooral door op eene warme plaats aan de lucht uitgespreid te verblijven, gedurende eenige dagen, zoo veel zuurstof op als zij kunnen, en worden zij daarna ingepakt, zoo moet alle bezwaar voor zelfontbranding zijn opgeheven, omdat de werkende oorzaak tot verzadiging is gekomen.

Intusschen geldt dit alleen van die voorwerpen, die niet *door broeijen* zelf-ontbranden waarover wij straks handelen, maar die zelf ontbranden ten koste eener zich oxyderende olie.

Zou men derhalve vóór het verzenden dier stoffen zich kunnen overtuigen, dat zij alle vooraf lang genoeg — (14 dagen des zomers zullen bij goede uitbreiding aan de lucht voldoende zijn, des winters de dubbele tijd) — aan de lucht blootgesteld zijn geweest, zoo zou men voor hen geene nadere voorzorgen meer behoeven, en zelfontbranding ware onmogelijk geworden.

Het is voorzeker dikwerf onmogelijk, om of die zekerheid te bekomen, of de voorwerpen als nog te ontpakken en ze aan de lucht bloot te stellen, eer zij worden ingescheept; maar waar dit mogelijk is, heeft men alle gevaar voorgekomen.

Blijft dit onmogelijk, dan moeten zij als *gevaarlijke* worden beschouwd, als *bedriegelijke*, die onder den schijn van onschadelijk te zijn, somtijds — hoezeer dan ook zelden, — zelfs ingepakt, ontvlammen, en er blijft dan, wanneer eene geheel verzekerende inpakking om de groote hoeveelheid onmogelijk is, niets ander over, dan:

Ze in het schip op plaatsen te bergen, waar men ze gemakkelijk bewaken kan, en zoo, dat men ze bij ontbranding gemakkelijk verwijderen of bluschen kan;

Ze van ligt brandbare voorwerpen geheel verwijderd te houden.

Hoezeer de stoffen, die wij onder Aβ behandeld hebben en *door broeijing* zelf ontvlammen kunnen, dit verschijnsel ten gevolge van eene geheel verschillende werking vertoonen, zoo komen toch vooreerst, dezelfde afpakkingsmiddelen in aanmerking voor kleine hoeveelheden derzelve, namelijk in ijzeren of blikken vaten. Zelden echter zal dit middel noodig of uitvoerbaar wezen, omdat juist tot deze reeks van broeijende stoffen voorwerpen behooren, die in zeer groote hoeveelheden verzonden worden, waar alzoo eene eigene verpakking in metalen of goed sluitende houten vaten onmogelijk wordt.

Onmogelijk is die verpakking echter niet bij meer of min gedroogde geneeskrachtige of andere kruiden; integendeel is zij hier uitvoerbaar. Waar zij uitvoerbaar is, kunnen wij zulk eene verpakking als geheel voldoende tegen het gevaar aanbevelen; mits men, indien zij in metalen vaten bevat zijn, deze vrijstelle van nabij geplaatste ligt brandbare voorwerpen. Houten vaten, mits zoo veel mogelijk luchtdigt, kunnen hier meer of min dienen, omdat wel broeijing, maar nooit ontbranding, wel eenige verhooging van temperatuur, vooral binnen in de massa, maar nooit zoodanig eene verhooging van temperatuur buiten aan de oppervlakte kan ontstaan, dat daardoor de inhoud van eene goed gekuipte ton kan brand vatten. Voor het broeijen, zagen wij, is bijna geene lucht noodig, maar voor het ontbranden van broeijende stoffen wel.

Maar er is een ander middel om dit broeijen geheel te voorkomen: men pakke die voorwerpen zoo veel mogelijk in gescheiden hoeveelheden. De werking heeft hier juist dan vooral plaats, wanneer er veel van dezelfde stoffe is opeengepakt. Het hooi in de hooibergen en in de mijten leert het ons; het laatste ontvlamt nooit, indien zij niet groot zijn.

Dit dan ten aanzien der verpakking van deze voorwerpen, waarbij deze in niet te groote hoeveelheden, naar wensch kunnen worden verdeeld.

Kan men ook, bij broeijende voorwerpen, door voorafgaande maatregelen het bezwaar niet voorkomen, even als in de voorwerpen van de reeks Aα, die enkel zuurstof verdigten en daardoor ontbranden? Inderdaad meer of min, maar op verre na niet met die zekere gevolgen, waarmede dit bij deze mogelijk is.

Men late namelijk de voor broeijing vatbare voorwerpen aan de lucht blootgesteld en ontneme er hunne vochtheid aan; vooral, men doe ze daarna goed droogen en pakke ze dan zoo digt mogelijk in, zoodat de lucht tot het inwendige weinig toegang hebbe. Kon men ze daarbij op eene droogе plaats

houden, zoo ware broeijing en dus ook zelfontbranding onmogelijk. Het hooi leert het ons wederom. Het is versch hooi, dat broeit; hooi, dat eenigen tijd aan de lucht blootgesteld geweest, daarna gedroogd is en droog is gebleven, broeit niet meer. Geldt dit van hooi, hetwelk om het broeijen zoo zeer berucht is, zoo veel te meer zal al het gezegde gelden van *hennip*, *vlas*, van versche onbewerkte, of ook wel bewerkte stoffen, van *koffijzakken*, *los touwwerk*, *ruwe garens*, *ruw linnen*, *ruw doekwerk*, *kardoessaai*, *werk*, *pakwerk*, *ruwe katoenen*. Versch, nog vochtig zamengepakt, zullen deze meer of min, sommige sterk broeijen en onder daartoe gunstige omstandigheden tot ontvlamming kunnen komen. Die broeijing zal in het scheepsruim van een schip, varende in warme gewesten, zeer worden bevorderd en alzoo ook de mogelijk daarop volgende zelfontbranding.

Ontneemt men aan die voorwerpen hunne verschheid, droogt men ze daarna en pakt men ze goed digt op een, zoo is daardoor het het gevaar van broeijen veel verminderd.

Maar, terwijl de voorwerpen, die door zuurstof op te slorpen daarvan eenmaal verzadigd kunnen worden en dan niet meer zelfontbranden kunnen, zoo is het met het aan de lucht blootstellen en droogen van deze voor broeijing vatbare voorwerpen niet gelegen. En ziedaar juist het bezwaar, hetwelk de broeijende voorwerpen opleveren. Worden zij namelijk later weder vochtig, hetzij door losse pakking en vochtige lucht, die tot in het binnenste kan doordringen, of zelfs bij vaste pakking, wanneer zij door regenwater of een lek in het schip bevochtigd worden, dan kunnen vele der genoemde voorwerpen inderdaad broeijen, alsof zij versch waren en dien ten gevolge zelfontbranden. De voorbeelden daarvan zijn menigvuldig.

Wij moeten verklaren, dat het voor sommige gevallen van zelfontbranding van *ruwe* linnen, katoenen of andere voorwerpen soms moeijelijk met zekerheid uit te maken is, of zij verbranden door voorafgegane broeijing, of door oxydatie van eene vette stoffe, daarin vervat. Ongaarne zouden wij voor elk geval de beslissing op ons nemen, of de eene of wel de andere werking besta. Ondersteunen doen zij elkander niet, zoo als wij boven (bl. 28) zagen, althans zal dit onder de zeer groote uitzonderingen behooren; want met vet doortrokken weefsels broeijen niet; vet gaat die soort van werking tegen, welke bij broeijen plaats heeft, en broeijen veronderstelt water, waardoor de oxydatie eener olie die mogt aanwezig zijn, weder wordt tegengestreefd.

Indien het geoorloofd is onze meening uit te spreken, dan zouden zij deze

zijn, dat in de gevallen van zelfontbranding van goed ingepakte, in balen aanwezige *ruwe* garens, linnen, katoenen, wollen voorwerpen, zeer zelden het gevreesde verschijnsel aan oxydatie eener vette olie mag worden toegeschreven, dat zij meestal door broeijing tot zelfontbranding komen, en dat hetgeen men meestal aan oxydatie toegeschreven heeft, omgekeerd zeer zelden daaraan moet worden toegekend.

De gronden voor dit oordeel zijn: de meestal veel te geringe hoeveelheid vet, om daaruit bij opslorping van zuurstof uit de lucht, die warmteontwikkeling af te leiden; de gelegenheid, welke veelal dit vet vóór de inpakking gehad heeft, om zuurstof op te nemen; de ongunstige omstandigheden ter opneming van die zuurstof, wanneer die voorwerpen in balen gepakt zijn, terwijl door ruimere blootstelling aan de lucht juist die voorwerpen gewoon zijn te ontvlammen, welke dit door oxydatie doen; de gunstige omstandigheden in die balen, om juist broeijing voort te brengen.

Deze en andere gronden doen ons overhellen tot de meening, dat de al of niet geweven ruwe stoffen, meestal ter dezer plaatste moeten opgenomen worden, dat is onder de door broeijing tot zelfontvlamming komende en niet onder de door opslorping van zuurstof daartoe gerakende.

Gelukkig is het voor het practische resultaat bijna onverschillig. In beide gevallen toch sluite men van die voorwerpen in metalen vaten op, wat mogelijk is; in beide gevallen stelle men ze vóór de verpakking aan de lucht bloot en ontneme er de verschheid aan; in beide gevallen zullen zij gedroogd ingepakt worden; in beide gevallen plaatse men ze dáár in het schip, waar zij kunnen bewaakt, bij onheil gebluscht, of verwijderd worden.

Een verschil is er echter, dat beide klassen van ligchamen opleveren, en wel een verschil van groot gewigt, namelijk: de door opslorping van zuurstof zelfontbrandende worden door vochtigheid daarin tegen gestreefd, terwijl de door broeijing zelfontbrandende juist daardoor worden bevorderd, om het onheil te doen ontstaan.

Dit verschil is in de praktijk van groot gewigt. De eerste worden door een lek niet geschaad; de laatsten kunnen daardoor aan het broeijen geraken en later vlam vatten, altoos in het geval, dat zij daartoe nog genoeg voor scheikundige omzetting vatbare stoffen in zich hebben terug gehouden, wat bij de bewerkte voorwerpen hoogst zelden het geval is.

Het zijn dan ook de *ruwe* stoffen vooral, die men in dit opzigt vreest.

Wat hiervan zij: het is onmogelijk om, zonder overdrevene kosten en

onoverkomelijke bezwaren voor den handel, de linnen, katoenen en wollen voorwerpen, de voorwerpen van hennip, vlas en zijde, hetzij deze verwerkt of niet verwerkt, ruw of gereinigd, geverwd of ongeverwd zijn, zoodanig te verzorgen, dat er niet te eeniger tijd zelfontbranding van zou kunnen ontstaan in de scheepsruimte, en de maatregelen van voorzorg, die wij hebben aangegeven, hoe waar ook de grondslag zij waarop zij berusten, zullen toch eene enkele maal blijken te falen in het uitwerksel, omdat men te weinig in staat was alle bijzonderheden te beoordeelen, die op het ontstaan van zelfontbranding in deze voorwerpen van invloed kunnen zijn.

Er is nog een middel, hetwelk wij hier niet mogen verzwijgen en hetwelk, zoo wij wel onderrigt zijn, bij de Engelschen niet onbekend is, namelijk: verdeeling der scheepsruimte, met het oog op de verdachte, de schadelijke voorwerpen, wier hoeveelheid te groot kan zijn, om ze op eigen zekere wijze te verpakken.

Dit middel zal zeker onder de uitvoerbare behooren; het is: de afzondering van een deel der hooger gelegene plaatsen bij voorbeeld tusschendeks van berging in het schip, voor verdachte stoffen; plaatsen, die bewaakt kunnen worden, die onmiddellijk kunnen doen ontwaren, wat er in voorvalt; waar men spoedig eene ruime hoeveelheid water kan aanbrengen, om ontstanen brand te blusschen.

Worden deze afgezonderde ruimten inwendig met dun ijzerblik beslagen, en de ruimte, die tusschen het hout en het ijzerblik overblijft, met de warmte slecht geleidend poeder van houtskool aangevuld — dit vooraf lang aan de lucht blootgesteld, zoo als van zelf spreekt — zoo zou zulk eene afgezonderde plaats van het schip kunnen dienen tot berging van stoffen, van wier zelfontbrandbaarheid men nooit zekerheid bekomen kan.

Er is een middel aanbevolen om het broeijen van het hooi tegen te gaan, hetwelk, indien het inderdaad van nut is, tegen broeijing in het algemeen zou kunnen worden aanbevolen, namelijk het plaatsen van gewoon keukenzout tusschen het hooi.

Onze ervaring van dit middel is niet voldoende, om er in dezen of genen zin een oordeel over uit te spreken. Maar dat het de broeijing tegengaat, wanneer het in ruime mate wordt aangewend is zeker. De vraag is, of het zoo zeer werkt, dat zelfontvlamming daardoor zeker wordt voorgekomen.

B. De maatregelen die getroffen kunnen worden voor zelfstandigheden, welke door slaan, stooten of wrijven zelfontbranding kunnen ondergaan, hebben,

zonder dat dit nader behoeft te worden toegelicht, betrekking op zoodanig eene verpakking, waardoor elk uitwendig aangebragt geweld kan worden opgeheven of tot schadeloosheid kan worden verminderd.

Van de verpakking van *buskruid* meenen wij te kunnen zwijgen, even zoo als van zijne verscheping. Voor buskruid is algemeene vrees en daaruit ontstane zorg. Ware de kennis aan de voor zelfontbranding vatbare, of als buskruid even ligt ontbrandbare stoffen, zoo algemeen verspreid als de kennis aan buskrnid is, wij zijn er zeker van, dat niemand beweren zou: »neem »geene maatregelen, maar laat alles maar over aan de kracht van het eigen- »belang." Hoe dikwerf toch is dit eigenbelang niet wijs, maar verschuift en verdringt het de waarheid.

De *slaghoedjes* zullen, naar wij vermoeden, met dezelfde zorg worden ingepakt als buskruid, dat is met voldoende zorg.

De beste wijze van verpakken van deze twee voorwerpen is, ongetwijfeld in dubbele vaten, met eene onschadelijke poedervormige stoffe tusschen beide, b. v. krijt of gipspoeder. Die twee vaten kunnen houten kuipen zijn.

Voorts moeten zij bij het uit- en inladen voorzigtig behandeld, nooit onder andere goederen maar vrij geplaatst worden in het schip, en daar, waar zij zoo verre mogelijk van vuur verwijderd zijn.

Aan deze voorwerpen grenzen vele anderen, ten opzigte van het gevaar. De *phosphorus* b. v., al is zijne hoeveelheid nog zoo gering, moet aan boord zeer gevreesd worden.

Men verpakke hem in kleine flesschen, en elke flesch — met water gevuld — in eene blikken, goed sluitende doos, de tusschenruimte met krijt of poeder van gips gevuld.

Maar op dezelfde lijn staan vele andere stoffen, die wij in ons wetenschappelijk onderzoek genoemd hebben, b. v. *chloras potassae,* en anderen (bl. 35). Al deze voorwerpen behooren in glazen flesschen, met blikken doozen omgeven, en de tusschenruimte met krijt of gips aangevuld, verpakt te worden. Zij moeten van ligt brandbare voorwerpen verwijderd worden gehouden.

Het is hier de plaats, om thans meer bepaald te handelen over die voorwerpen, die door onbestemde namen worden aangeduid, als die van *geneesmiddelen, chemicaliën, droogerijen, kramerijen.* Deze alle te splitsen en afzonderlijk op te noemen, is schier onmogelijk. Er komen zeer onschuldige, maar ook zeer schadelijke zelfstandigheden onder voor.

Ons oordeel zou zijn, daar er of geene specifieke opgaven van gedaan

worden, of soms ook die opgaven niet bepaald, niet duidelijk genoeg zullen zijn, ze alle als verdachte goederen te beschouwen, er eene verpligte pakking van voor te schrijven en ze zooveel mogelijk onder het bereik der waarneming op de schepen te bergen.

Zijn de hoeveelheden daarvan groot, zoo kan dit bezwaar opleveren. Maar wat kan er in den weg staan, om de als onschadelijk bekende verpligt te scheiden van de schadelijke, en voor deze laatsten eene verpligte verpakking in metalen vaten voor te schrijven?

Worden b. v. onder kramerijen aangegeven houten objecten, als kinder speelgoed, metalen objecten tot dit doel, zij kunnen als indifferente stoffen worden verpakt. Maar bij aldien er *onbekende* voorwerpen onder zijn, of wanneer zij niet duidelijk als onschadelijk bekend staan, is eene verpligte verpakking noodig.

Wie zal beslissen, of de *lucifers,* onder de kramerijen opgenomen, niet meermalen oorzaak van zelfontbranding op schepen waren? Deze voortaan als onschuldige voorwerpen, onder den naam van kramerijen te doen doorgaan, ware, naar ons oordeel, ongeoorloofd.

Even zoo is het met droogerijen, chemicaliën, geneesmiddelen. Onder alle drie deze namen kan men salpeterzuur, zwavelzuur, etherische oliën, phosphorus, in een woord de gevaarlijkste stoffen verstaan, die daarom vooral gevaarlijk zijn, omdat zij, bij elkander behoorende, dikwerf in kleine hoeveelheden verzonden, in ééne kist gepakt worden, soms in eene kist van veel inhoud, die niet gemakkelijk te verwerken is en daardoor aan stooten en aan het verdeelen van den inhoud blootgesteld is.

Eene verpligte verpakking, het liefst de schadelijke voorwerpen geïsoleerd van de overige, en in kleine ijzeren kisten, is hier, naar ons oordeel, onvermijdelijk.

Het is onmogelijk hier lijsten bij te voegen van alles, wat men onder de namen *geneesmiddelen, chemicaliën, droogerijen* of *kramerijen,* verstaat. Die lijsten zouden ook slechts namen bevatten, waaruit dikwerf niet eenmaal de schadelijke of onschadelijke natuur van het voorwerp zou kunnen blijken, of wel namen van op zich zelf onschadelijke voorwerpen, maar die bij elkander schadelijk zijn.

Beter, dan zulk eene schier grenzenlooze lijst, schijnt ons, bij twijfel of onzekerheid, enkel op den naam af van geneesmiddelen, chemicaliën, droogerijen of kramerijen, de genoemde verpligte verpakking toe.

Wanneer hier niet iets te veel gevergd wordt, vergt men dikwerf veel te weinig.

De medicijn-kist wenschen wij echter hieronder niet begrepen te hebben, omdat wij van de meening uitgaan, dat die onder den invloed van eenen deskundigen verkeert; anders zou voor die medicijn-kist noodwendig hetzelfde gelden.

C. De verpakking en verscheping, die gevorderd wordt voor de voorwerpen, welke bij vermenging ontbranden kunnen, zal het gevaar zooveel mogelijk worden voorgekomen, berust noodwendig vooreerst op het beginsel, deze stoffen noch bij elkander te pakken, noch bij elkander te plaatsen in het schip. Het eerste is intusschen gemakkelijker gezegd, dan uitgevoerd. Onder de stoffen, die men gewoonlijk chemicaliën noemt, komen vooral deze sterker werkende zelfstandigheden voor. Zij zijn bl. 55 vroeger opgenoemd en behandeld. Zal men van deze alle, die tot eene zelfde partij goederen behooren, b. v. door denzelfden afzender ingezonden, verlangen, dat zij steeds afgescheiden van elkander zullen verpakt worden, en dat zij op verschillende plaatsen in het schip zullen worden gesteld, dan kan het aantal kleinere pakken zeer groot worden, en men verlegen worden, waar deze steeds geïsoleerd van andere schadelijke stoffen te plaatsen in het schip.

Gelukkig is het aantal der voorwerpen, die hiertoe behooren, niet zoo groot, en de gewoonlijk verzonden hoeveelheden zijn niet zoo in omvang, of aan de bezwaren is wel te gemoet te komen.

Ligt ontbrandbare stoffen, die ook in aanraking met anderen gemakkelijk van deze laatste brand kunnen doen ontstaan, als *potassium, bromium, phosphorus,* zijn in zulk een klein bestek, dat eene afsluiting der glazen vaten, waarin zij bewaard worden, door metalen vaten, waarin elk glazen vat besloten is, geen bezwaar kan opleveren. Het is de reeds gevolgde wijze van inpakken en verzenden, en eigene nieuwe voorschriften zijn hier alzoo niet te geven; slechts behoort men aan de algemeen bestaande regelen te herinneren.

Van grooter gewigt is het, dat wij stilstaan bij de schadelijke vloeistoffen, waarvan men soms aanzienlijke hoeveelheden verzendt, als *salpeterzuur* en *zwavelzuur.*

Eene aanzienlijke verbetering zou er verkregen zijn, wanneer deze stoffen niet in groote glazen fleschen, niet in massa's bijeen, maar in kleine dikke glazen fleschen verzonden werden, die elk voor zich door gips in eene

doos van stevig hout gepakt werden. Metaal kan hierbij niet worden gebruikt. Al deze kleinere doozen zouden dan zamen op nieuw door gips kunnen ingepakt worden in eene grootere kist, maar deze toch nimmer van zulk een omvang, dat zij moeijelijk te transporteren is. De inhoud zou duidelijk op de kisten moeten aangewezen zijn, opdat elk kon gewaarschuwd worden er omzigtig mede om te gaan; de halzen der flesschen zouden ook steeds *naar boven* moeten gekeerd zijn en de kisten dus met een *boven* moeten geteekend worden. Die halzen zelve moeten met glazen stoppen goed gesloten zijn en met kraanwas zijn digt gemaakt, en bovendien gebonden zijn op den hals door een ijzerdraad. Dit baat wel niet bij salpeterzuur, wanneer er eene kleine lekking tusschen stop en hals is, al is het ook slechts van dampen van het zuur; maar blijft de stop sluiten, dan bevestigt deze draad dien stop zooveel te beter. Voorts behooren de flesschen nooit geheel en al gevuld te worden, opdat de stop, bij uitzetting van het vocht door de warmte, niet worde opgeligt.

Zulke sterke zuren behooren voorts geheel alleen geplaatst te worden in het schip, zoodat bij het breken van een of meer flesschen, het vocht met geene schadelijke stoffen in aanraking kome.

Maar het hout van het schip of van de kist, waarin zij geplaatst zijn, is reeds zulk eene schadelijke stoffe. Daarom moeten ook zij zoodanig geplaatst zijn, dat zij kunnen worden bewaakt, dat hetgeen er aan mogt gebeuren, bespeurd worde.

Lucifers mogen niet anders verzonden worden, dan in goed sluitende blikken doosjes, niet veel bij elkander in dezelfde doos. De kleine doosjes kunnen in grootere ijzeren vaten worden besloten.

Chloras potassae, die in aanraking met vele andere ligchamen tot hevige branding of ontploffing aanleiding geven kan, behoort even als lucifers te worden ingepakt. *Salpeter* en soortgelijke, gemakkelijk den rijkdom van zuurstof die zij bevatten, afgevende stoffen, op dezelfde wijze als chloras potassae. Salpeter, in houten vaten gekuipt, zou, mits als buskruid buiten alle gemeenschap met het scheepsvolk gehouden, in eene afgezonderde ruimte kunnen geborgen worden.

Bij de mogelijke vermenging van de eene stoffe met de andere, waardoor zelfontbranding kan ontstaan, zij men aandachtig, dat die menging niet slechts kan plaats hebben door zamenvloeijing van of tot *naast* elkander geplaatste voorwerpen, maar ook van *boven* elkander geplaatste, zelfs met een dek tusschen beide. B. v. er breekt eene flesch met zwavelzuur; deze lost langza-

merhand het hout van het daaronder liggende dek op, zonder dat het wordt bespeurd. Ten laatste dringt het zwavelzuur door het dek van den vloer heen en vloeit op een lager dek, waar het ontbrandbare stoffen aantreft, die door zwavelzuur kunnen vlam vatten.

Kalk, die ongebluscht is, worde van water op elke wijze verwijderd gehouden.

Aangaande de *steenkolen* verkeeren wij in eene onoverkomelijke moeijelijkheid. Men kan de massa, die ingenomen wordt, niet zoo onderzoeken, dat men zeker kan wezen, dat niet hier en daar een stuk voorkomt, hetwelk het vroeger genoemde eerste ijzer-sulphuur bevat, voldoende om vlam te vatten en het geheel te doen ontsteken. En ziedaar een onoverkomelijk bezwaar in de verzending of verzorging van dit op schepen steeds voorhanden ligchaam. Het eenige wat men doen kan, is te zorgen, dat er nimmer water bij kome, ze dus daar plaatsen, waar toetreding van regenwater of zeewater onmogelijk is. Maar dan nog heeft men de mogelijkheid, dat de vochtigheid der lucht de ontbranding kan veroorzaken. Voor groote hoeveelheden, zou de plaats, waar zij in het schip bewaard worden, het best eene afgezonderde, met dunne ijzeren platen bedekte ruimte zijn, met een luik afgesloten en genoegzaam bij de hand, om bij brand, door eene groote hoeveelheid water gebluscht te worden. Men zou ook van het reeds daartoe aangewend middel gebruik kunnen maken, om ijzeren buizen in de massa's steenkolen te plaatsen; waardoor van tijd tot tijd thermometer-waarnemingen mogelijk worden, om tegen te ontstane zelfontbranding gewaarschuwd te worden.

D. De druipbare voorwerpen, die onder de rubriek D behooren, namelijk *de ligt ontvlambare*, behooren alleen opgenomen te worden, wanneer zij in volkomen goed sluitende vaten besloten zijn; in glazen of metalen flesschen, de stoppen behoorlijk digt gebonden en met hars overdekt. Deze flesschen behooren, indien zij van glas zijn, in eene ijzeren kist gepakt te worden, door middel van zaagsel of soortgelijke, hier onschadelijke stoffe.

Zwam en fijn *geteerd touwwerk*, buiten gebruik, behoort in houten vaten besloten te worden. Dat, wat aan boord in gebruik is, kan door geene bijzondere voorzorgen aan het vlam vatten worden onttrokken; maar het is of op plaatsen aanwezig, waarvan vuur verwijderd blijft, of het is zwaar genoeg in een gewerkt, om niet door eene vonk van eene tabakspijp of eene vlam van een lucifer te kunnen ontstoken worden.

Behalve door deze verpligte verpakking van de ligt vlambare voorwerpen

van de rubriek D, berge men ze op plaatsen in het schip, waar men noch met vuur noch met licht toetreedt, waar geene vonk of vlam naderen kan.

Het buskruid is men gewoon goed te verzorgen. *Aether sulphuricus, Spiritus nitri dulcis, Hoffmans-druppels, Chloroform* behoeven, omdat zij vlugtig zijn, in zeker opzigt, nog veel meer zorg; de grootste zorg behoeven de fleschen waarin zij zijn bevat, om niet te bersten of te lekken. De halzen der flesschen moeten altoos *boven* geplaatst zijn, en de kisten derhalve met een duidelijk *boven* gemerkt worden.

Zulke voorwerpen behooren in eene ruimte van het schip bewaard te worden, als eene kruidkamer ingerigt en verzorgd. De flesschen behooren van zeer stevig glas te zijn en niet grooter van inhoud, dan ter grootte van eene wijnflesch; elke flesch behoort afzonderlijk verpakt te worden in ruw matwerk met zaagsel omgeven, en alzoo ingepakt, kunnen er meerdere zamen besloten worden in eene houten kist.

E. De zeer brandbare, maar daarom nog niet ligt ontvlambare stoffen, die wij in twee reeksen hebben onderscheiden (bl. 57), houde men zooveel mogelijk van die plaatsen verwijderd, waar nu en dan vuur of licht wordt gebezigd. De druipbare, als *liqueuren, spiritus vini, arak* enz. behooren in niet te groote flesschen verpakt, deze goed gesloten, en zoodanig in manden of kisten door zaagsel of eene andere stoffe verdeeld te worden, dat de flesschen niet breken kunnen.

F. Van de in brandbaar vermogen met hout gelijk staande voorwerpen, behoeven wij, waar er sprake is om brand op schepen te voorkomen, niet bijzonder te gewagen.

De onbrandbare gaan wij geheel met stilzwijgen voorbij.

Ter nadere aanduiding laten wij hier drie der ontvangen lijsten volgen, waarop wij de voorwerpen hebben verdeeld, naar de op bl. 48 en 49 genoemde zes rubrieken.

Mogten wij door ons verslag de hoogst gewigtige zaak der zelfontbranding op schepen meer of min hebben toegelicht en hare treurige gevolgen eenigermate hebben voorgekomen: wij zouden ons hartelijk verheugen.

G. J. MULDER.

A. H. VAN DER BOON MESCH.

J. C. RIJK.

STAAT DER DIVERSE ARTIKELEN, *volgens opgave van het Ministerie van Koloniën, van de Nederlandsche Handelmaatschappij, van de Kamers van Koophandel te Amsterdam, Groningen, Leeuwarden, Middelburg, Rotterdam en Zwolle, gewoonlijk in scheepsruimte verzonden, gerangschikt in afdeelingen, naar gelang van den graad hunner brandbaarheid.*

ONDER BEPAALDE VOORWAARDEN ZELFONTBRANDBARE STOFFEN.

Zelfontbrandbaar door aanraking met lucht, of niet zelfontbrandbaar, maar zeer brandbaar.

Drukinkt,
Gewast linnen,
Gewaste taf,
Lithographische inkt,
Olie (diverse),
Zwartsel.

Zelfontbrandbaar door broeijing, of niet zelfontbrandbaar, maar zeer brandbaar.

Hennep (gehekelde),
Hooi,
Kardoessaai,
Koffijzakken,
Vlas.

Zelfontbrandbaar door aanraking met lucht of door broeijing, of niet zelfontbrandbaar, maar als hout of touwwerk brandbaar.

Adr. rood katoen (geverwd),
〃 〃 〃 (gedrukt),
〃 roode garens,
Baai,
Blaauw geverwd katoen,
〃 laken,
Bont katoen,
Casimiren,
Chitsen,
Dassen (hals-),
Dekens,
Dock,
Flanel,
Garens,
Gedrukte katoenen,
Geverwde 〃
Gewaterd grein,
Glandes querci tosti,
Groenten (gedroogde),
Kardoessaai,
Katoen (gebleekt bedlaken-),
〃 (〃 kussensloopen-),
〃 (〃 hemden-),
〃 (imitatie-, enz.),
Laken,
〃 (Koningsblaauw-),
〃 (Karmozijnrood uitmonstering-),
〃 (Geel uitmonstering-),

Laken (rood),
Linnen,
Moltondekens,
Naaigaren,
Ruwe katoenen,
Touw,
Touwwerk,
Weefgoederen (in kleuren geweven katoen),
Werk,
〃 (pak-).

Door stooten, slaan of wrijven zelfontbrandbaar.

Banketbakkerswerk (voor zoo verre er fulminas argenti in voorkomt),
Buskruid,
Lucifers,
Slaghoedjes.

Door vermenging met andere stoffen zelfontbrandbaar.

Acidum muriaticum,
〃 nitricum,
Bromium,
Kalk (ongebluschte),
Potassium,
Sterkwater,
Zwavelzuur.

Zelfontbrandbaar door aanraking met lucht en door vermenging, of niet zelfontbrandbaar, maar zeer brandbaar.

Steenkolen.

Zelfontbrandbaar door aanraking met lucht of door broeijing, door stooten, slaan of wrijven, of niet zelfontbrandbaar maar zeer ligt ontvlambaar, of in brandbaarheid met hout en touwwerk te vergelijken.

Chemicaliën (diverse),
Droogerijen 〃
Neurenberger kramerijen,

NIET ZELFONTBRANDBARE STOFFEN.

Ligt ontvlambaar, niet zelfontbrandbaar.

Acide acetique (mits sterk),
Alcohol,
Chloroforme,
Collodium,
Eau de Cologne,
Aether-sulphuricus,
Geteerd en ongeteerd touwwerk, lijnen.
Kreosot.
Oleum chamomillae aethereum,
〃 terebenthinae (terpentijn-olie of water),
〃 menthae pip. opt.,
Parfumeriën,
Reukwateren,
Zwam.

Zeer brandbaar, niet zelfontbrandbaar.

Amygdalae amarae,
Asphalt (steen),
Baccae juniperi,
Balsam copaivae,
Bitume,
Boter,
Bougies van gom elastiek,
Brandewijn,
Caoutchouc,
Cera alba,
Genever,
Gomelastiek,
Gummi Arabicum in pulv.,
Gutta percha,
Hammen (gerookte),
Harpuis,
Harst,
Kaarsen,
Kaas (diverse),
Lak,
Levantsche opium,
Likeuren,
Lupuline,
Lycopodium,
Murias morphii,
Marseill. zeep,
Oleum jecoris aselli,
″ olivarum,
Olijf-olie,
Opium crudum,
Palm-olie,
Pik (gestookte),
Pikpotten,
Pulvis gummosus,
Sandrak,
Schellak,
Sebum ovillum,
Semen anisi,
″ cardam. minor,
″ foeniculi,
″ santonici,
Specerijen (notenmuscaat, kaneel, foelie, kruidnagelen, peper),
Spek (gerookt),
Spiritus vini,
Stearine kaarsen,
Stroop (mits door de warmte eerst watervrij geworden),
Styrax liquida,
Suiker,
Sulphas chininae,
Teer,
Traan,
Tros (geteerd),
Unguent thymelaei,
Venetiaansche terpentijn (terebinthina veneta),
Vernis,
Veratrine,
Was,
Waskaarsen,
Zeep (witte),
″ (groene), mits door de warmte watervrij geworden, (Sapo viridis),
″ (Spaansche),
Zwart zegellak,
Zwavelstokken.

In brandbaarheid met hout of touwwerk te vergelijken.

Alconet-wortel,
Arabische gom,
Band,
Bandeliers,
Beschuit,
Bindtouw,
Blaasbalgen,
Boekwerken,

Borduursel,
Borstlappen,
Breukbanden,
Bulbus scillae siccum,
Caliatourhout,
Calqueerpapier,
Camlet,
Castoren en geweven fil d'écosse handschoenen,
Cigaren,
Chacots,
Coaks,
Colleerlappen,
Cortex quercus,
〃 simarubae,
Crocus orientalis.
Damast,
Degen- en sabel-dragons,
Doosjes (houten en kartonnen),
Etiquetten,
Everdoek,
Extract belladonnae alcohol.
〃 cicutae siccum
〃 liquiritiae opt.
〃 ratanhiae
〃 sabinae alcoh.
} mits door de warmte watervrij geworden,
Flores arnicae,
〃 chamomillae vulg.,
Fluweel,
Folia uva ursi,
Galon (rood, geel, kemelshaar en goud),
Geweerriemen,
Gordel-bretels,
Goudfluweel,
Goud en zilver galon,
Gouden en zilveren epauletten,
〃 〃 〃 tongen,
〃 〃 〃 lissen,
〃 〃 〃 passanten,
Gutta-gom,
Handschoenen,

Hemden,
Herba digital. purp.,
〃 hyoscyami nigr.,
Hilversum,
Hoorn,
Hoornschalen,
Jute doek,
Kalmink,
Karldoek,
Kemelshaar,
Kemelsgaren,
Kleederen,
Koffij,
Koord,
Koppels,
Kousen, (ongewelde en gewelde,)
Kraaijenpennen,
Kurk, (gesneden en inlandsch gebrand,)
Kwartiermutsen,
Leder,
Lignum Guajaci rasur,
〃 santal. rubr. in pulv.,
Lijm,
Lijn (wagen-, draai-, vlagge-, mar- en paarden-),
Meel,
Meubelpapier,
Mos,
Moschus tunquin in vesicis,
Mospapier (ongeteerd),
Mouwvesten (katoen),
Mutsen,
Naaizakjes,
Naaizijde,
Neteldoek,
Nuces gallae,
Olifantspapier,
Onderbroeken,
Ouwels,
Pantalons,
Papier (divers),

Papier, (gekleurd,)
〃 (grijs olifants,)
〃 (kardoes,)
Patroontasschen,
Pennen (divers),
Pergament,
Petten,
Piqué,
Pluimen,
Pokhout,
Polemiet,
Pompleder,
Poortlaken,
Prenten en platen,
Presenningdoek,
Radix althaeae in pulv.,
〃 calam. arom.,
〃 liquiritiae in pulv.,
〃 ratanhiae,
〃 rhei optimiss.,
〃 〃 in pulvere,
〃 sarsaparill. hond.,
Ransels,
Reepslag,
Regenmantels van Casimir-Indien,
Ridderlinten,
Riemen (lederen),
Roode zijde,
Santonine,
Satin de laine,
Schoenen,
Schuurpapier,
Secale cornutum,
Signaturen,
Slangen (smalle) voor brandspuiten,
Snoeren,
Sokken,
Sponsen,
Spongia officinalis,
Strooheoden,
Tabakzaad,
Tapijtwerk,
Thee,
Thimpanvellen,
Tromslagvellen,
Tromsnaren,
Tromsnaarvellen,
Trijp,
Uniform-hoeden,
Verbandkatoen,
Verlakt lederen kleppen,
〃 〃 koppels,
Vilt (patent),
Vlaggen,
Vlaggedoek,
Wereldkaarten,
Wit gemsleder,
Witte katoenen,
Wollen dekens,
Zadelmakerswerk,
Zeemleder,
Zeildoek,
Zeilgaren,
Zeven (haren en zijden),
Zijden goederen,
Zijden en everlaste halsdassen,
〃 kokardes.
Zijde (naai-),
Zijden sjerpen.

De houten of hout en metaal bevattende voorwerpen zijn niet aangewezen. Evenmin de metalen of glazen objecten, ook niet de onschadelijke praeparaten.



MÉMOIRE

SUR

L'INTÉGRATION DES ÉQUATIONS LINÉAIRES

DU

PREMIER ORDRE AUX DIFFÉRENTIELLES PARTIELLES,

À QUATRE VARIABLES.

PAR

R. LOBATTO.

Uitgegeven door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.

AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.
1854.

MÉMOIRE

SUR

L'INTÉGRATION DES ÉQUATIONS LINÉAIRES

DU

PREMIER ORDRE AUX DIFFÉRENTIELLES PARTIELLES,

à QUATRE VARIABLES.

PAR

R. LOBATTO.



§ 1. La méthode d'intégration que nous allons exposer dans le présent mémoire est entièrement analogue à celle qui a fait l'objet d'un travail antérieur relatif aux équations à trois variables, et consigné dans le tome VI des Mémoires publiés par la 1re Classe de l'ancien Institut. Nous ferons voir qu'en adoptant une nouvelle caractéristique propre à représenter l'ensemble de trois opérations distinctes à effectuer sur une fonction par rapport aux variables dont elle dépend, l'intégration des équations aux différentielles partielles à quatre variables pourra, à l'instar de celle traitée dans le susdit mémoire, être ramenée à des procédés uniformes, qui établiront de même une analogie remarquable avec ceux de l'intégration ordinaire des fonctions quelconques d'une seule variable.

Pour faciliter les recherches que je vais entreprendre, je distinguerai les équations dont il s'agit en deux classes différentes; la première comprenant celles où les coefficiens qui affectent les trois différentielles partielles de la

variable principale, sont des quantités constantes; et la seconde, celles où ces coéfficiens sont fonctions des variables qui entrent dans l'équation proposée.

§ 2. Les équations appartenant à la première classe sont comprises dans la forme

$$\frac{du}{dx} + a\frac{du}{du} + b\frac{du}{dz} = V \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

u désignant la variable principale; x, y, z les variables indépendantes; a et b deux facteurs constans. Quant and second membre V, il pourra représenter en général une fonction des quatre variables a la fois.

Considérons en premier lieu le cas le plus simple où la proposée ne contient pas la fonction V, et se réduit par conséquent à la forme

$$\frac{du}{dx} + a\frac{du}{dy} + b\frac{du}{dz} = 0,$$

ou bien, en employant une notation connue, à celle ci

$$\partial_x u + a\,\partial_y\, u + b\,\partial_z\, u = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Son intégrale peut s'obtenir à l'aide de la théorie des caractérestiques de deux manières différentes.

D'abord, en donnant à l'équation (2) la forme:

$$\partial_x u + (a\,\partial_y + b\,\partial_z)\, u = 0,$$

elle devient comparable à l'équation à deux termes

$$\partial_x u + Au = 0;$$

u étant également fonction de x, y et z, et A un facteur constant.

L'intégrale complète de cette dernière équation a évidemment pour valeur

$$u = e^{-Ax}\,\varphi\,(y,z);$$

φ indiquant une fonction arbitraire. On en déduira, en substituant à la constante A la caractéristique composée $a\,\partial_y + b\,\partial_z$, pour l'intégrale complète de l'équation (2)

$$u = e^{-(ax\partial y + bx\partial z)}\,\varphi\,(y,\,z)$$

expression équivalente à celle ci

$$u = \varphi\,(y - ax,\; z - bx)$$

On pourrait y parvenir encore en procédant de la manière suivante. Mettons la proposée sous la forme

$$D_a u + b\partial_z u = 0$$

la caractéristique D_a dénotant la double opération $\partial_x + a\partial_y$ à effectuer sur la fonction u. Or, puisque l'intégrale complète de l'équation à deux variables indépendantes x et y,

$$D_a u + \alpha u = 0$$

α étant un facteur constant, s'exprime par

$$u = e^{-\alpha x} \varphi(y - ax)$$

ainsi qu'il a été trouvé dans notre mémoire cité (n°. 17), il en résultera immédiatement, en supposant u fonction des trois variables x, y, z, et après avoir remplacé la constante α par la caractérisque $b\partial_z$,

$$u = e^{-bx\partial_z} \varphi(y - ax, z);$$

expression équivalente à

$$u = \varphi(y - ax, z - bx)$$

et conforme au résultat obtenu ci dessus.

§ 3. Il ne sera peut être pas inutile de faire remarquer ici qu'un simple changement de variables indépendantes pourrait conduire encore à l'intégrale dont il s'agit, sans le secours delà théorie des caractéristiques.

En effet, introduisons trois nouvelles variables x', y', z' liées avec les précédentes par les relations

$$x = \alpha x' + \alpha_1 y' + \alpha_2 z'$$
$$y = \beta x' + \beta_1 y' + \beta_2 z'$$
$$z = \gamma x' + \gamma_1 y' + \gamma_2 z'$$

Elles donneront celles ci:

$$\partial_{x'} u = \alpha\,\partial_x u + \beta\,\partial_y u + \gamma\,\partial_z u$$
$$\partial_{y'} u = \alpha_1 \partial_x u + \beta_1 \partial_y u + \gamma_1 \partial_z u$$
$$\partial_{z'} u = \alpha_2 \partial_x u + \beta_2 \partial_y u + \gamma_2 \partial_z u$$

Or, en faisant

$$\alpha_1 = 0\ ,\quad \beta_1 = 1\ ,\quad \gamma_1 = 0,$$
$$\alpha_2 = 0\ ,\quad \beta_2 = 0\ ,\quad \gamma_2 = 1,$$

On en tire

$$x = \alpha x' \quad , \quad y = \beta x' + y' \quad , \quad z = \gamma x' + z'$$

Donc, si l'on a à intégrer l'équation

$$\alpha \partial_x u + \beta \partial_y u + \gamma \partial_z u = 0,$$

celle ci se réduira à

$$\partial_{x'} u = 0$$

qui a pour intégrale complète

$$u = \varphi\ (y', z')$$

En y mettant au lieu de y', z', leurs valeurs en fonction de x, y et z, c'est à dire $y - \frac{\beta x}{\alpha}$, $z - \frac{\gamma x}{\alpha}$, ou obtiendra pour l'intégrale de la proposée

$$u = \varphi\ (\alpha y - \beta x,\ \alpha z - \gamma x)$$

resultat qui coincide avec celui du § précédent, en supposant $\alpha = 1$, $\beta = a$ et $\gamma = b$.

§ 4. Dénotons maintenant par la caractéristique $D_{a.b}$ l'ensemble des trois opérations à effectuer sur la fonction u, et indiquées par la caractéristique composée

$$\partial_x + a \partial_y + b \partial_z$$

Posons en même tems, pour abréger, $y - a x = y'$ et $z - b x = z'$, l'équation

$$\partial_x u + a \partial_y u + b \partial_z u = 0$$

prendra alors la forme simplifiée

$$D_{a.b}\ u = 0,$$

et aura pour integrale complète

$$u = \varphi\ (y', z').$$

§ 5. Avant de traiter l'équation plus générale

$$D_{a\ b}\ u = V,$$

nous allons faire connaître quelques proprietés de cette nouvelle caractéristique. propres a faciliter très souvent la recherche de l'intégrale de l'équation précédente.

Soit $u = PQ$, P et Q réprésentant chacune une fonction des trois variables x, y et z. On en tire d'abord (Mémoire cité n°. 6).

$$D_a u = D_a PQ = P D_a Q + Q D_a P$$

On a d'ailleurs

$$b\,\partial_z u = b\,P\,\partial_z Q + b\,Q\,\partial_z P$$

Donc, à cause de

$$(D_a + b\,\partial_z)\,u = D_{a.b} u$$

il viendra

$$D_{a.b} u = D_{a.b}.PQ = P D_{a.b} Q + Q D_{a.b} P \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

d'où il est aisé de déduire les formules suivantes

$$\frac{D_{a.b} PQ}{PQ} = \frac{D_{a.b} P}{P} + \frac{D_{a.b} Q}{Q} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

$$\frac{D_{a.b}\ PQR\ldots}{PQR\ldots} = \frac{D_{a.b} P}{P} + \frac{D_{a.b} Q}{Q} + \frac{D_{a.b} R}{R} + \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

$$D_{a.b} P^m = m P^{m-1} D_{a.b} P \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

$$D_{a.b} \frac{P}{Q} = \frac{Q\, D_{a.b} P - P\, D_{a.b} Q}{Q^2} \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

$$D_{a.b}\, e^P = e^P D_{a.b} P \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

qui ont toutes la plus parfaite analogie avec les formules du calcul différentiel ordinaire.

Supposons à présent

$$Q = \varphi\,(y - ax,\ z - bx) = \varphi\,(y', z')$$

la formule (1) donnera dans ce cas, à cause de $D_{a.b} Q = 0$,

$$D_{a.b}, P\varphi(y'.z') = \varphi(y', z')\ D_{a.b} P$$

et en répétant la même opération, on obtiendra généralement

$$D^n_{a.b}.P\varphi(y', z') = \varphi(y', z')\ D^n_{a.b} P \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

Si l'on désigne par $S_{a.b}$ l'opération inverse de celle indiquée par $D_{a.b}$; de sorte que l'on ait

$$S_{a.b}\left[D_{a.b} u\right] = u$$

ou bien

$$S_{a.b}\, u = D^{-1}_{a.b}\, u$$

on déduira de l'équation (7), en attribuant à n une valeur négative, l'équation suivante

$$S^n_{a.b}\, P\, \varphi\, (y', z') = \varphi\, (y', z')\, S^n_{a.b}\, P \quad \ldots \ldots \ldots \quad (8)$$

Lorsque la fonction P ne contient que les variables x et y, les deux dernières équations se réduisent aux suivantes

$$D^n_{a.b}\, P\, \varphi\, (y', z') = \varphi\, (y', z')\, D^n_a\, P \quad \ldots \ldots \ldots \quad (9)$$

$$S^n_{a.b}\, P\, \varphi\, (y', z') = \varphi\, (y', z')\, S^n_a\, P \quad \ldots \ldots \ldots \quad (10)$$

En supposant P fonction seulement de l'une des trois variables x, y ou z, on aura dans le premier cas

$$D^n_{a.b}\, P\, \varphi\, (y', z') = \varphi\, (y', z')\, \frac{d^n P}{d x^n} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (11)$$

$$S^n_{a.b}\, P\, \varphi\, (y', z') = \varphi\, (y', z')\, {}^n\!\!\int P\, d x^n \quad \ldots \ldots \ldots \quad (12)$$

dans le second,

$$D^n_{a.b}\, P\, \varphi\, (y', z') = a^n \varphi\, (y', z')\, \frac{d^n P}{d y^n} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (13)$$

$$S^n_{a.b}\, P\, \varphi\, (y', z') = \frac{\varphi(y', z')}{a^n}\, {}^n\!\!\int P\, d y^n \quad \ldots \ldots \ldots \quad (14)$$

et dans le troisième

$$D^n_{a.b}\, P\, \varphi\, (y', z') = b^n \varphi\, (y', z')\, \frac{d^n P}{d z^n} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (15)$$

$$S^n_{a.b}\, P\, \varphi\, (y', z') = \frac{\varphi(y', z')}{b^n}\, {}^n\!\!\int P\, d z^n \quad \ldots \ldots \ldots \quad (16)$$

Dans le cas général le second membre de l'équation (8) devra être complété par la quantité

$$\psi\, (y', z') = x\, \psi'\, (y', z') + x^2\, \psi''\, (y', z') \;\ldots + x^{n-1}\, \psi^{(n-1)}\, (y', z')$$

renfermant n fonctions arbitraires de $y'.z'$, ainsi que cela résulte en partant de l'équation

$$D^n_{a.b}\, u = 0,$$

qui donne, après une première intégration,

$$D^{n-1}_{a.b}\, u = \varphi\, (y'.z'),$$

et après une seconde,

$$D_{a.b}^{n-2}\, u = x\, p\, (y', z') + q'\, (y', z')$$

en vertu de la formule (12), et ainsi de suite; chaque nouvelle intégration amenant une nouvelle fonction arbitraire de y', z'. La quantité exprimée ci dessus, et où l'on pourra évidemment remplacer x par y ou z devant chacune des fonctions arbitraires, représentera ainsi la valeur complète de u, qui vérifie l'équation de l'ordre n

$$D_{a.b}^{n}\, u = 0$$

équivalente à celle ci

$$[\partial_x + a\,\partial_y + b\,\partial_z]^n\, u = 0.$$

§ 6. On aura remarqué, par ce qui précède, que dans toutes les opérations effectuées par rapport à la caractérestique $D_{a.b}$ la fonction $\varphi\,(y'.z')$ se comporte absolument de la même manière qu'une constante dans les procédés ordinaires de la différentiation et de l'intégration. Cette proprieté va nous fournir les moyens de parvenir à l'intégrale de l'équation

$$\partial_x u + a\,\partial_y u + b\,\partial_z u = V;$$

V etant supposé d'abord ne contenir que les trois variables indépendantes.

La valeur complète de cette intégrale pouvant être présentée sour la forme

$$u = S_{a.b}\, V + \varphi\,(y'.z'),$$

il s'agira de calculer celle du premier terme $S_{a.b}\, V$. Or, par un raisonnement tout à fait semblable à celui employé au n°. 5 de notre mémoire précédent, on reconnaîtra sans peine que la valeur de $S_{a.b} V$ s'obtiendra en substituant dans la fonction V, à la place de y et z leurs valeurs $y' + a\,x$, $z' + b\,x$, et intégrant en suite la différentielle $V\,d\,x$, dans l'hypothése de $y'.z'$ constantes, qui devront être remplacées après l'intégration par $y - a\,x$ et $z - b\,x$, pour que l'intégrale $S_{a.b}\, V$ soit exprimée en fonction de x, y et z. Cette proprieté est d'ailleurs une conséquence immédiate du changement de variables. On a vu en effet, au § 5, qu'en introduisant les nouvelles variables $y' = y - a\,x$ et $z' = z - b\,x$, la proposée se reduit à

$$\partial_x u = V$$

d'où il suit

$$u = \int V\, d\,x$$

intégrale qu'il faudra compléter encore par une fonction arbitraire de y' et z'.

§ 7. Eclaircissons ce procédé par les deux exemples suivans:

1°. Soit $V = xyz$. D'après ce qui précède, cette fonction se transformera en
$$x(y' + ax)(z' + bx) = abx^3 + (az' + by')x^2 + xy'z',$$
d'où l'on tire de suite
$$\int V\,dx = \tfrac{1}{4}abx^4 + \tfrac{1}{3}(az' + by')x^3 + \tfrac{1}{2}x^2y'z'.$$

Substituant dans cette intégrale au lieu de y', z' leurs valeurs en fonction de x et y, on trouvera, toute réduction faite,
$$S_{a.b}V = S_{a.b}xyz = \frac{x^2}{12}\{abx^2 - 2x(az + by) + byz\}$$
cette quantité augmentée de la fonction arbitraire $\varphi(y', z')$ exprimera ainsi l'intégrale complète de l'équation
$$\partial_x u + a\partial_y u + b\partial_z u = xyz.$$

2°. Soit $V = x^2 + y^2 + z^2$; il viendra
$$\int V\,dx = \int\{x^2 + (y' + ax)^2 + (z' + bx)^2\}dx$$
$$= \frac{(1 + a^2 + b^2)}{3}x^3 + (ay' + bz')x^2 + (y'^2 + z'^2)x$$
$$= \frac{(1 + a^2 + b^2)}{3}x^3 - (ay + bz)x^2 + (y^2 + z^2)x$$

En y ajoutant la fonction arbitraire $\varphi(y', z')$, la somme représentera l'intégrale complète de l'équation
$$\partial_x u + a\partial_y u + b\partial_z u = x^2 + y^2 + z^2.$$

§ 8. Nous allons montrer maintenant qu'on peut parvenir encore à l'évaluation de $S_{a.b}V$, sans élimination préalable des variables y et z, et cela au moyen d'un procédé parfaitement analogue à celui qui nous a déja utilement servi dans l'intégration des équations à deux variables indépendantes, et que l'on trouve indiqué au n°. 6 de notre mémoire cité.

En effet, supposons la fonction V décomposée en produits de la forme XYZ dont les trois facteurs soient respectivement des fonctions de x, de y et de z seulement. Or, puis qu'on a (§ 5)
$$D_{a.b}XYZ = YZ\partial X + aXZ\partial Y + bXY\partial Z$$

on tire de cette équation, en y remplaçant X par $\int X\,dx = X'$,

$$D_{a.b}\, X'YZ = XYZ + aX'Z\partial Y + bX'Y\partial Z$$

Passant ensuite aux intégrales par rapport à $D_{a.b}$, il viendra

$$S_{a.b}\, XYZ = X'YZ - a\,S_{a.b}\, X'Z\partial Y - b\,S_{a.b}\, X'Y\partial Z \quad . \; . \; . \quad (1)$$

Donc, chaque fois que Y et Z seront des fonctions algébriques et entières des variables y et z, l'évaluation de la quantité $S_{a.b}\,V$ sera ramenée à celle des quantités de la forme $S_a\,X\,Y$ et $S_b\,X\,Z$. Mais, en faisant successivement $Z = 1$ et $Y = 1$ dans l'équation (1), celle ci donnera

$$S_a\, XY = X'Y - a\,S_a\, X'\partial Y \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

$$S_b\, XZ = X'Z - b\,S_b\, X'\partial Z \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

On aura encore, en supposant $X = 1$,

$$S_{a.b}\, YZ = a\,YZ - a\,S_{a.b}\, xZ\partial Y - b\,S_{a.b}\, xY\partial Z \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

De plus

$$S_{a.b}\, X = \int X\,dx\,, \quad S_{a.b}\,Y = \frac{1}{a}\int Y\,dy\,, \quad S_{a.b}Z = \frac{1}{a}\int Z\,dz \quad . \; . \; . \quad (5)$$

d'ou l'on voit, que dans l'hypothèse dont il s'agit, l'évaluation de $S_{a.b}XYZ$ sera finalement ramenée aux intégrales ordinaires.

§ 9. Appliquons ces formules aux deux équations traitées dans le § 7. On aura pour la première où $V = xyz$, en vertu de la formule (1) § 8,

$$S_{a.b}\, xyz = \tfrac{1}{2}\,x^2yz - \tfrac{1}{2}\,a\,S_b\,x^2z - \tfrac{1}{2}\,b\,S_a\,x^2y,$$

et d'après les formules (2) (3) et (5)

$$S_a\,x^2y = \tfrac{1}{3}\,x^3y - \tfrac{1}{3}\,a\,S_a\,x^3 = \tfrac{1}{3}\,x^3y - \tfrac{1}{12}\,ax^4$$

$$S_b\,x^2z = \tfrac{1}{3}\,x^3z - \tfrac{1}{3}\,b\,S_b\,x^3 = \tfrac{1}{3}\,x^3z - \tfrac{1}{12}\,bx^4$$

Donc, en substituant ces deux valeurs, on en tirera

$$S_{a.b}\, xyz = \tfrac{1}{2}\,x^2yz - \tfrac{1}{6}\,(az + by)x^3 + \tfrac{1}{12}\,ab\,x^4$$

résultat conforme à celui précédemment obtenu.

Pour la seconde équation où l'on a $V = x^2 + y^2 + z^2$, on trouvera immédiatement a l'aide des formules (5) § 8

$$S_{a.b}\,(x^2 + y^2 + z^2) = \tfrac{1}{3}\,x^3 + \frac{1}{3a}\,y^3 + \frac{1}{3b}\,z^3\,.$$

Cette valeur parait différer de celle trouvée au § 7, savoir

$$\frac{(1 + a^2 + b^2)}{3} x^3 - (ay + bz)x^2 + (y^2 + z^2)x,$$

mais, en observant que la différence mise sous la forme

$$\frac{1}{3a}(y - ax)^3 + \frac{1}{3b}(z - bx)^3$$

pourra être englobée dans la fonction arbitraire $\varphi(y - ax, z - bx)$ qui doit compléter chaque intégrale prise par rapport à la caractèrestique $D_{a.b}$, on verra de suite que les deux resultats obtenus par des voies différentes, sont également exacts, et que l'on aura ainsi plus simplement,

$$u = \tfrac{1}{3}x^3 + \frac{1}{3a}y^3 + \frac{1}{3b}z^3 + \varphi(y', z')$$

pour l'intégrale complète de l'équation

$$\partial_x u + a\partial_y u + b\partial_z u = x^2 + y^2 + z^2$$

On pourra par conséquent choisir entre les deux méthodes d'intégration d'après la nature de la fonction V. Lorsque celle ci contient des transcendantes, il paraîtra, en général, préferable d'y appliquer la première de ces méthodes.

§ 10. Considérons actuellement le cas où la fonction V renferme en même tems la variable principale u. L'intégration de l'équation

$$D_{a.b}u = V$$

offrira alors la même difficulté que celle qui se présente dans la recherche de l'intégrale de l'équation à deux variables

$$du - V dx = 0$$

lorsque V contient x et u à la fois, et qu'il faudra multiplier son premier membre par un facteur pour le rendre une différentielle exacte. Pour s'en convaincre, il suffit d'observer, qu'en substituant dans la proposée aux variables y, z, les quantités $ax + y'$, $bx + z'$, les nouvelles variables y', z' se comportent comme des constantes dans l'intégration par rapport à $D_{a.b}$; et

puisque la même substitution change $D_{a.b}u$ en $\frac{du}{dx}$, on sera conduit à l'équation différentielle partielle

$$\frac{du}{dx}dx = V dx$$

où V renferme les quatre variables u, x, y' et z', et dont l'intégrale devra être complétée par la fonction arbitraire $\varphi(y', z')$. Il existe cependant plusieurs cas particuliers, où il devient possible d'éviter la difficulté dont il s'agît, en ramenant la proposée à une autre équation dont le second membre ne contienne que les variables indépendantes. Nous allons en indiquer quelques uns.

1°. Soit:

$$D_{a.b}u = V = V'\psi(u)$$

V' ne dépendant que de x, y, z.

Pour parvenir à l'intégrale u, faisons $\int\frac{du}{\psi(u)} = U$; il en résultera

$$\partial_x U = \frac{\partial_x u}{\psi(u)}, \quad \partial_y U = \frac{\partial_y u}{\psi(u)}, \quad \partial_z U = \frac{\partial_z u}{\psi(u)}$$

donc $D_{a.b}u = \psi(u) D_{a.b}U$, ce qui change la proposée en

$$\psi(u)\ D_{a.b}U = V'\psi(u)$$

ou

$$D_{a.b}U = V'$$

et d'où l'on tire par un des procédés dejà exposés,

$$U = \int\frac{\partial u}{\psi(u)} = S_{a.b}V' + \varphi(y', z')$$

intégrale qui établit une relation entre la fonction u et les trois variables dont elle dépend.

Prenons pour exemple l'équation

$$\partial_x u + a\partial_y u + b\partial_z u = uV'$$

on aura $U = Log.\ u$; donc

$$Log.\ u = S_{a.b}V' + \varphi(y', z'),$$

ou, ce qui revient au même,

$$u = e^{S_{a.b}V}\ \varphi(y', z')$$

Lorsque le terme V est seulement fonction de u, l'équation à intégrer étant alors de la forme

$$D_{a.b}u = \psi(u),$$

donne $V' = 1$, et par conséquent

$$U = \int \frac{du}{\psi(u)} = x + \varphi(y', z')$$

pour l'intégrale dont il s'agît.

Soit encore $V = u^n V'$; on aura $U = \int \frac{du}{u^n} = -\frac{1}{n-1}\frac{1}{u^{n-1}}$, donc

$$u^{1-n} = (1-n)\, S_{a.b} V' + \varphi(y', z').$$

Prenons $n = -1$. $V' = x$, il viendra pour l'intégrale de l'équation

$$D_{a.b}u = \frac{x}{u},$$

$$u^2 = x^2 + \varphi(y', z').$$

2°. Supposons maintenant $V = \alpha u + V'$; α désignant un facteur constant. Si l'on fait $u = e^{\alpha x} U$, ou en déduira d'après la formule (1) (§ 5),

$$D_{a.b}u = e^{\alpha x}(D_{a.b}U + \alpha U) = e^{\alpha x} D_{a.b}U + \alpha u.$$

La proposée se réduira alors à

$$e^{\alpha x} D_{a.b} U = V'$$

ou

$$D_{a.b} U = e^{-\alpha x} V'$$

On en tire directement

$$U = S_{a.b}\, e^{-\alpha x} V' + \varphi(y', z')$$

Donc

$$u = e^{\alpha x}\left\{S_{a.b}\, e^{-\alpha x} V' + \varphi(y', z')\right\}.$$

En y appliquant l'intégration par parties, la valeur de u pourra être développée en une série analogue à celle obtenue au N°. 7 du mémoire cité.

3°. Supposons plus généralement $V = uV_1 + V_2$, V_1 et V_2 ne contenant pas la variable principale. On fera d'abord

$$u = e^{S_{a.b} V_1} U$$

d'où il suit

$$\mathrm{D}_{a.b}\, u = e^{\mathrm{S}_{a.b} \mathrm{V}_1} \left\{ \mathrm{D}_{a.b} \mathrm{U} + \mathrm{U} \mathrm{V}_1 \right\} = e^{\mathrm{S}_{a.b} \mathrm{V}_1} \mathrm{D}_{a.b} \mathrm{U} + u \mathrm{V}_1$$

ce qui changera la proposée

$$\mathrm{D}_{a.b}\, u = u \mathrm{V}_1 + \mathrm{V}_2$$

en

$$\mathrm{D}_{a.b} \mathrm{U} = e^{-\mathrm{S}_{a.b} \mathrm{V}_1} \mathrm{V}_2$$

Par conséquent

$$\mathrm{U} = \mathrm{S}_{a.b} \mathrm{V}_2\, e^{-\mathrm{S}_{a.b} \mathrm{V}_1} + \varphi(y', z')$$

et

$$u = e^{\mathrm{S}_{a.b} \mathrm{V}_1} \left\{ \mathrm{S}_{a.b} \left(\mathrm{V}_2\, e^{-\mathrm{S}_{a.b} \mathrm{V}_1} \right) + \varphi(y', z') \right\}$$

résultat qu'on pourra présenter encore sous la forme suivante, après avoir exprimé V_1 et V_2 en fonction de x, y' et z'.

$$u = e^{\int \mathrm{V}_1 dx} \left\{ \int e^{-\int \mathrm{V}_1 dx}\, \mathrm{V}_2\, dx + \varphi(y', z') \right\}$$

et où il faudra ensuite remplacer y', z' par leurs valeurs $y - ax$, $z - bx$.

L'équation

$$\mathrm{D}_{a.b}\, u = u \mathrm{V}_1 + u^{n+1} \mathrm{V}_2$$

se ramene facilement à la précédente en la mettant sour la forme

$$\frac{\mathrm{D}_{a.b}\, u}{u^{n+1}} = -\frac{1}{n} \mathrm{D}_{a.b} \left(\frac{1}{u^n} \right) = \frac{\mathrm{V}_1}{u^n} + \mathrm{V}_2$$

et posant ensuite $u' = \dfrac{1}{u^n}$, elle deviendra

$$\mathrm{D}_{a.b}\, u' = -n (u' \mathrm{V}_1 + \mathrm{V}_2)$$

D'après ce qui précéde, elle aura pour intégrale complète

$$\frac{1}{u^n} = -n\, e^{\int \mathrm{V}_1 dx} \left\{ \int e^{\int \mathrm{V}_1 dx} \mathrm{V}_2\, dx + \varphi(y', z') \right\}.$$

4°. Soit encore $\mathrm{V} = f\left(\dfrac{u}{x}\right)$; on fera $u = xu'$, donc

$$\mathrm{D}_{a.b}\, u = x \mathrm{D}_{a.b}\, u' + u'.$$

La proposée se reduira alors à

$$x\,D_{a.b}u' + u' = V = f(u')$$

ou bien à

$$\frac{D_{a.b}\,u'}{f(u') - u'} = \frac{1}{x}$$

d'où l'on tire, en posant $\displaystyle\int\frac{du'}{f(u') - u'} = U$,

$$D_{a.b}\,U = \frac{1}{x}.$$

Donc

$$U = S_{a.b}\,\frac{1}{x} = \varphi\,(y', z')\;Log.(x)$$

ce qui fournira une relation entre les variables u', x, y', z' et la fonction arbitraire, où il faudra ensuite remplacer u', y', z', par leurs valeurs en fonction de u, x, y et z.

5°. Lorsque la fonction V se présente sous la forme fractionnaire $\frac{P}{Q}$, le numérateur et le dénominateur étant supposés des fonctions homogènes des variables u et x et du même dégré n, de manière que l'on ait $P = x^n\,\psi\left(\frac{u}{x}\right)$, $Q = x^n\,\psi'\left(\frac{u}{x}\right)$, il est evident que V devenant alors une fonction de $\frac{u}{x}$, l'intégration de la proposée rentre dans le cas que nous venons de traiter. Prenons pour exemple

$$P = Ax + Bu \quad . \quad Q = A'x + B'u$$

L'équation a intégrer deviendra

$$(A'x + B'u)\,D_{a.b}u = Ax + Bu.$$

Faisant $u = xu'$, elle se changera en

$$x\,D_{a.b}\,u' + u' = \frac{A + Bu'}{A' + B'u'}$$

d'où l'on déduit

$$x\,D_{a.b}\,u = \frac{A + (B - A')\,u' - B'u'^2}{A' + B'u'},$$

$$\frac{A' + B'u'}{A + (B - A')\,u' - B'u'^2}\,D_{a.b}u = \frac{1}{x}.$$

Faisons encore

$$U = \int \frac{(A' + B'u')\,du'}{A + (B - A')u' - B'u'^2}.$$

Il en résultera

$$D_{a.b}U = \frac{1}{x} \quad . \qquad U = \varphi(y', z')\,Log.\,(x).$$

Pour obtenir l'intégrale précédente, posons

$$\frac{A' + B'u}{A + (B - A')u - B'u^2} = \frac{\alpha}{m - u'} + \frac{\beta}{n + u'}.$$

On trouvera

$$U = Log.\,\frac{(n + u')^\beta}{(m - u')^\alpha} = Log.\,\frac{x(nx + u)^\beta}{(mx - u)^\alpha}$$

à cause de $\alpha - \beta = 1$. Par conséquent

$$Log.\left(\frac{x(nx + u)^\beta}{(mx - u)^\alpha}\right) = \varphi(y', z')\,Log.\,(x),$$

ou bien

$$\frac{(nx + u)^\beta}{(mx - u)^\alpha} = \varphi(y', z')$$

les quantités m, n, α et β devant être remplacées ensuite par leurs valeurs en fonction de A, B, A' et B'.

Les exemples précédens suffiront pour faire connaître la marche à suivre dans l'intégration de l'équation

$$\partial_x u + a\partial_y u + b\partial_z u = V$$

d'après la nature de la fonction V.

§ 11. Traitons actuellement les équations comprises dans la forme plus générale

$$P\partial_x u + Q\partial_y u + R\partial_z u = V$$

où les coëfficiens P, Q, R sont supposés variables.

Ces équations qui appartiennent à la seconde classe, présentent divers cas relativement à la difficulté de leur intégration. Nous allons les discuter successivement, en supposant d'abord V = 0.

1°. Soient P, Q, R respectivement des fonctions de x, de y et de z; faisons

$$\int\frac{dx}{P} = X\,. \quad \int\frac{dy}{Q} = Y\,. \quad \int\frac{dz}{R} = Z$$

il est évident que la proposée

$$P\frac{du}{dx} + Q\frac{du}{dy} + R\frac{du}{dz} = 0.$$

se transformera immédiatement en

$$\frac{du}{dX} + \frac{du}{dY} + \frac{du}{dZ} = 0$$

où l'on pourra considérer u comme fonction des nouvelles variables indépendantes X, Y, Z. Cette dernière équation qui rentre dans la première classe, a pour intégrale (§ 2)

$$u = \varphi(Y - X, Z - X).$$

Les variables X, Y, Z devant être remplacées ensuite par leurs valeurs en x, y et z.

Appliquons ce procédé à l'équation

$$x\partial_x u + y\partial_y u + z\partial_z u = 0,$$

on aura $X = l(x)$, $Y = l(y)$ et $Z = l(z)$. Par suite l'intégrale s'exprimera par

$$u = \varphi\left(l\left(\frac{y}{x}\right),\ l\left(\frac{z}{x}\right)\right) = \varphi\left(\frac{y}{x}, \frac{z}{x}\right).$$

2°. Soient P et Q respectivement des fonctions de y et de z; supposons que la fraction $\frac{R}{PQ}$ ne contienne que la variable z. En écrivant la proposée sous la forme

$$\frac{du}{Q\,dx} + \frac{du}{P\,dy} + \frac{R}{PQ}\frac{du}{dz} = 0$$

et faisant en même tems

$$\int Q\,dx = X\,, \quad \int P\,dy = Y\,, \quad \int\frac{PQ}{R}dz = Z\,,$$

on obtiendra comme ci dessus,

$$u = \varphi\,(Y - X\ ,\ Z - X)\,.$$

Prenons pour exemple l'équation

$$y\,\partial_x u + x\,\partial_y u + \frac{x\,y}{z}\partial_z u = 0,$$

On en tirera

$$X = \tfrac{1}{2}x^2\ ,\ Y = \tfrac{1}{2}y^2\ ,\ Z = \tfrac{1}{2}z^2.$$

Donc

$$u = \varphi\,(y^2 - x^2\ ,\ z^2 - x^2)\,.$$

Il est presque inutile de remarquer ici que l'on pourrait procéder de la même manière dans le cas où l'on aurait

$$\int R\,dx = X\ ,\quad \int \frac{P\,R}{Q}dy = Y\ ,\quad \int P\,dz = Z.$$

ou bien

$$\int \frac{Q\,R}{P}\,dx = X\ ,\quad \int R\,dy = Y\ ,\quad \int Q\,dz = Z.$$

3°. Supposons $R = R'Z$, Z indiquant une fonction de z seule, et R' ainsi que P et Q des fonctions de x et y à la fois. Si, pour abréger, on pose

$$\frac{Q}{P} = p\ ,\qquad \frac{R'}{P} = M,$$

la proposée prendra la forme

$$D_p u + M\,Z\,\partial_z u = 0$$

ou bien

$$D_p u + M\,\partial_{z'} u = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

en faisant $\dfrac{d\,z}{Z} = d\,z'$.

Pour parvenir à l'intégrale de l'équation précédente, on pourra la comparer à celle ci

$$D_p u + \alpha\,M\,u = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (b)$$

où u réprésente une fonction des deux variables x et y. D'après ce qui a été trouvé au n°. 18 de notre mémoire cité, l'intégrale de l'équation (b) a pour valeur

$$u = e^{-\alpha S_p M}\,\varphi\,(y')$$

y' étant une fonction de x, y, qui, egalée à zéro, vérifie l'équation différentielle

$$d\,y - p\,d\,x = 0\,.$$

Or, en considérant u comme fonction de trois variables indépendantes x, y et z', il est manifeste que l'équation (b) aura pour intégrale complète

$$u = e^{-\alpha S_p M} \varphi(y', z')$$

et si l'on on y remplace le coëfficient α par la caractérestique $\partial_{z'}$, on en déduira directement pour l'intégrale complète de l'équation (α)

$$u = e^{-S_p M \partial z'} \varphi(y', z')$$

expression équivalente à

$$u = \varphi(y', z' - S_p M).$$

Voici quelques applications.

Soit à intégrer l'équation

$$x^2 y \partial_x u + x y^2 \partial_y u + \frac{y^3}{z} \partial_z u = 0.$$

qui donne

$$P = x^2 y, \quad Q = x y^2, \quad R' = y^3, \quad Z = \frac{1}{z}.$$

Il s'en suit

$$p = \frac{y}{x}, \quad M = \frac{y^2}{x^2}, \quad z' = \tfrac{1}{2} z^2, \quad y' = \frac{y}{x},$$

$$S_p \frac{y^2}{x^2} = S_p y'^2 = \int y'^2 \, dx = \frac{y^2}{x}.$$

Donc

$$u = \varphi\left(\frac{y}{x}, \tfrac{1}{2} z^2 - \frac{y^2}{x}\right).$$

Soit l'équation

$$x y \partial_x u - x y \partial_y u - (x + y) z \partial_z u = 0.$$

On a

$$p = -1; \quad y' = x + y, \quad Z = z, \quad z' = l(z),$$

$$M = \frac{x + y}{xy} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}, \quad S_p M = l(x) - l(y) = l\left(\frac{x}{y}\right),$$

$$u = \varphi\left(x + y, \; l\left(\frac{yz}{x}\right)\right).$$

§ 12. Considérons le cas où chacun des trois coëfficiens P, Q, R, renferme les trois variables x, y, z à la fois. Il est aisé de prouver qu'en général l'intégration

$$P \partial_x u + Q \partial_y u + R \partial_z u = 0$$

peut toujours être ramenée à celle de l'équation à trois variables

$$P \partial_x z + Q \partial_y z = R \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (A)$$

En effet, supposons l'intégrale de cette équation mise sous la forme

$$\varphi\,(x, y, z) = 0$$

il en résultera la relation différentielle

$$\frac{d\varphi}{dx} dx + \frac{d\varphi}{dy} dy + \frac{d\varphi}{dz} dz = 0,$$

d'où l'on tire pour les valeurs de $\partial_x z$ et $\partial_y z$,

$$\partial_x z = -\frac{\frac{d\varphi}{dx}}{\frac{d\varphi}{dz}} \qquad \partial_y z = -\frac{\frac{d\varphi}{dy}}{\frac{d\varphi}{dz}}.$$

Ces valeurs étant substituées dans l'équation (A) donneront l'équation

$$P \frac{d\varphi}{dx} + Q \frac{d\varphi}{dy} + R \frac{d\varphi}{dz} = 0,$$

On en conclut immédiatement que la proposée sera satisfaite par l'équation

$$u = \varphi\,(x, y, z)$$

qui en exprimera ainsi l'intégrale. On voit encore par ce qui précède, que si l'intégrale de l'équation (A) est presentée sous la forme

$$T = \varphi\,(U).$$

T et U indiquant des fonctions de x, y, z, l'équation

$$P \partial_x u + Q \partial_y u + R \partial_z u = 0,$$

aura pour intégrale

$$u = \varphi\,(T, U)$$

Les divers procédés indiqués dans notre mémoire cité pour parvenir à in-

tégrer les équations différentielles à trois variables seront donc également applicables au cas actuel, qui sera ainsi sujet aux mêmes difficultés.

Soit à intégrer par ex. l'équation

$$(z^2+xy)\partial_x u - (z^2+xy)\partial_y u + z(x+y)\partial_z u = 0.$$

A cet effet il faudra intégrer l'équation à trois variables

$$(z^2+xy)\partial_x z - (z^2+xy)\partial_y z = z(x+y) \quad \ldots\ldots \quad (\alpha)$$

qui donne $p = -1$; donc $y' = x + y$. En y appliquant le procédé exposé au n°. 14 du susdit mémoire, on pourra chercher l'intégrale de l'équation

$$(z^2+xy)\,dz - z(x+y)\,dx = 0$$

après en avoir eliminé la variable y, à l'aide de la relation $y = y' - x$, ce qui change cette équation en

$$(z^2 + x(y'-x))\,dz - y'z\,dx = 0$$

ou bien

$$(z^2-x^2)\,dz + y'(x\,dz - z\,dx) = 0$$

et où la fonction y' devra être traitée comme une constante.

Les variables x et z pourront être séparées en posant $\frac{z}{x} = t$; on trouvera alors

$$dz + y'\frac{dt}{t^2-1} = 0,$$

équation dont le premier membre a pour intégrale

$$z + \frac{y'}{2}\,l\left(\frac{t-1}{t+1}\right) = z + \frac{x+y}{2}\,l\left(\frac{z-x}{z+x}\right).$$

Par conséquent l'intégrale complète de l'équation (α) sera

$$x + y = \varphi\left(z + \left(\frac{x+y}{2}\right)l\left(\frac{z-x}{z+x}\right)\right)$$

et celle de la proposée pourra être presentée sous la forme

$$u = \varphi\left\{x+y\,,\ \ z + \left(\frac{x+y}{2}\right)l\left(\frac{z-x}{z+x}\right)\right\}.$$

Prenons pour second exemple l'équation

$$x\,(z-y)\,\partial_x u + y\,(x-z)\,\partial_y u + z\,(y-x)\,\partial_z u = 0,$$

qui exige l'intégration de l'équation

$$x\,(z-y)\,\partial_x z + y\,(x-z)\,\partial_y z = z\,(y-x) \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (\beta)$$

On peut facilement obtenir deux intégrales particulières de cette dernière équation. En effet les fonctions P, Q, R fournissent les relations suivantes

$$P + Q + R = 0\,, \quad \frac{P}{x} + \frac{Q}{y} + \frac{R}{z} = 0\,.$$

D'après la première on aura a intégrer l'équation

$$D_p z + 1 + p = 0$$

ayant pour intégrale

$$z + x + y = \varphi(y')$$

et d'après la seconde, il viendra l'équation

$$D_p z + z\left(\frac{1}{x} + \frac{p}{y}\right) = 0$$

qui, après avoir été mise sous la forme

$$\frac{D_p z}{z} + \frac{1}{x} + \frac{p}{y} = 0$$

fournit l'intégrale

$$l(z) + l(x) + l(y) = \varphi(y'),$$

ou ce qui revient au même

$$x\,y\,z = \varphi\,(y').$$

Ces deux intégrales particulières conduiront à la relation

$$x\,y\,z = \varphi\,(x+y+z),$$

pour l'intégrale de l'équation (β). Donc l'intégrale de la proposée sera

$$u = \varphi\,\big(x\,y\,z\,,\; x+y+z\big).$$

§ 13. Passons maintenant au cas où les fonctions P, Q, R renferment en même tems la variable principale u. Nous allons montrer que la proposée

s'intégrera alors absolument comme si cette variable fut remplacée par une constante, dans chacune des trois fonctions P, Q, R.

En marquant par p et q les rapports $\frac{Q}{P}$, $\frac{R}{P}$, la proposée prendra la forme

$$\partial_x u + p\,\partial_y u + q\,\partial_z u = 0,$$

et pourra encore, en introduisant ici la même notation que dans le § 4, s'écrire sous la forme simplifiée

$$D_{p.q}\, u = 0.$$

Soit $u = \varphi(y', z')$, y' et z' réprésentant des fonctions de x, y, z, u. Il est facile de s'assurer qu'on pourra déduire de la valeur de u, l'équation

$$D_{p.q}\, u = \varphi_1\, D_{p.q}\, y' + \varphi_2\, D_{p.q}\, z'$$

φ_1, φ_2 exprimant les derivées partielles de la fonction φ prises par rapport aux variables y' et z'. Cette équation montre de suite qu'en prenant pour y' et z' des fonctions telles qu'on ait

$$D_{p.q}\, y' = 0. \qquad D_{p.q}\, z' = 0$$

la proposée sera satisfaite par la valeur

$$u = \varphi\,(y', z')$$

ou en d'autres termes que si $u = y'$, $u = z'$ désignent deux intégrales particulières de la proposée, l'équation

$$u = \varphi\,(y', z')$$

en exprimera l'intégrale complète. Or, puisque y', z' contiennent en même tems la variable u, on aura, en posant

$$y' = f\,(x, y, z, u) \quad \text{et} \quad z' = \psi\,(x, y, z, u)$$

$$\partial_x y' = \frac{df}{dx} + \frac{df}{du}\frac{du}{dx}$$

$$\partial_y y' = \frac{df}{dy} + \frac{df}{du}\frac{du}{dy}$$

$$\partial_z y = \frac{df}{dz} + \frac{df}{du}\frac{du}{dz}$$

d'où l'on déduit

$$D_{p.q}\, y' = \partial_x y' + p\,\partial_y y' + q\,\partial_z y' = \frac{df}{dx} + p\frac{df}{dy} + q\frac{df}{dz}$$

à cause de $D_{p.q}\, u = 0$. On obtiendra de même

$$D_{p.q}\, z' = \frac{d\psi}{dx} + p\frac{d\psi}{dy} + q\frac{d\psi}{dz},$$

ce qui indique que la fonction u se comporte dans les différentiations à opérer sur les fonctions y', z' comme une constante, et qu'on pourra par conséquent traiter u comme telle dans la recherche des deux intégrales particulières.

Soit par ex. l'équation

$$(x - au)\,\partial_x u - (y - bu)\,\partial_y u - (z - cu)\,\partial_z u = 0.$$

Son intégration dépendra de celle de l'équation

$$(x - au)\,\partial_x z - (y - bu)\,\partial_y z + z - cu = 0.$$

Puisque P et Q contiennent seulement les variables x et y; et P et R seulement les variables x et z, il faudra intégrer séparément les équations

$$(x - au)\, dy + (y - bu)\, dx = 0$$

$$(x - au)\, dz + (z - cu)\, dx = 0$$

qui donnent immédiatement, en y considerant u comme une constante

$$y' = xy - u\,(ay + bx),$$

$$z' = xz - u\,(az + cx).$$

Donc la proposée aura pour intégrale complète

$$u = \varphi\,\Big\{xy - u\,(ay + bx),\; xz - u\,(az + cx)\Big\}.$$

§ 14. Il nous reste encore à traiter le cas général où le second membre de la proposée est fonction de quelques unes ou de toutes les variables à la fois. L'équation à intégrer étant alors

$$P\,\partial_x u + Q\,\partial_y u + R\,\partial_z u = V,$$

pourra être présentée sous la forme simplifiée

$$D_{p.q}\, u = \frac{V}{P}.$$

Désignons par la caractérestique $S_{p.q}$ l'opération inverse de celle indiquée par $D_{p.q}$, on aura, en posant $\frac{V}{P} = V'$, pour l'intégrale complète de l'équation précédente, l'expression

$$u = S_{p.q} V' + \varphi (y', z')$$

dont le terme $\varphi (y', z')$ réprésente l'intégrale de l'équation

$$P \partial_x u + Q \partial_y u + R \partial_z u = 0.$$

L'on voit que la difficulté de l'intégration est maintenant augmentée de celle que peut offrir la recherche de la valeur de $S_{p.q} V'$, qui réprésente une intégrale particulière de l'équation donnée.

En supposant d'abord que V' ne contienne que les variables indépendantes, on pourra y parvenir en éliminant y et z à l'aide des équations $y' = f(x, y)$. $z' = \psi (x, y)$ obtenues en intégrant les fonctions $dy - p\,dx$, $dz - q\,dx$, multipliées au besoin par un facteur propre à les rendre différentielles exactes. De cette manière V' se transformera en une fonction de x, y', z' et il en résultera alors $S_{p.q} V' = \int V' dx$ où l'on traitera y', z' comme des constantes. Pour s'en convaincre on n'a qu'à remplacer dans l'équation

$$du = \partial_x u\, dx + \partial_{y'} u\, dy' + \partial_{z'} u\, dz'$$

qui suppose u fonction de x, y, z, les différentielles dy', dz' par leurs valeurs

$$\mu (dy - p dx) \qquad \lambda (dz - q\, dx)$$

elle deviendra alors

$$du = (\partial_x u - p \mu \partial_{y'} u - q \lambda \partial_{z'} u)\, dx + \mu \partial_{y'} u\, dy + \lambda \partial_{z'} u\, dz$$

En comparant celle ci à l'équation différentielle

$$du = \partial_x u\, dx + \partial_y u\, dy + \partial_z u\, dz$$

il s'en suit pour le dernier systême de variables,

$$\partial_x u = \partial_x u - p \mu_{y'} u - q \lambda \partial_{z'} u \ . \quad \partial_y u = \mu \partial_{y'} u \ . \quad \partial_z u = \lambda \partial_{z'} u .$$

Par consequent

$$D_{p.q}u = \partial_x u + p\partial_y u + q\partial_z u = \partial_x u = V'$$

$$u = \int V' dx.$$

On remarquera que ce procédé est tout a fait analogue à celui déjà exposé au § 3 relatif au cas particulier où les coëfficiens p et q sont des constantes. Mais on verra en même tems que son application pourra offrir souvent des difficultés insurmontables à cause des éliminations qu'elle exige. En général il semble préférable d'employer ici une methode d'intégration analogue à celle dont nous sommes déjà servis au § 8, et qui dispense dans la plupart des cas d'effectuer ces élimininations.

Il suit en effet de la formule fondamentale,

$$D_{p.q} T U = T D_{p.q} U + U D_{p.q} T.$$

T et U réprésentant des fonctions de x, y, z,

$$S_{p.q}[T D_{p.q} U] = T U - S_{p.q}[U D_{p.q} T]$$

ou bien, après avoir mis U à la place de $D_{p.q}U$,

$$S_{p.q}(T U) = T S_{p.q} U - S_{p.q}[D_{p.q} T . S_{p.q} U] \quad . . . . . . (1)$$

Cette formule renferme quelques resultats particuliers qui peuvent etre utilement employés dans la recherche de la valeur de $S_{p.q} V'$.

Supposons en premièr lieu que la fonction T verifie l'équation $D_{p.q} T = 0$, c'est à dire qu'on ait $T = \varphi(y', z')$, la formule (1) se reduira à

$$S_{p.q}(U \varphi(y', z')) = \varphi(y', z') S_{p.q} U \quad . . . . (2)$$

Soient X, Y, Z respectivement des fonctions de x, y et z, on aura évidemment

$$S_{p.q} X = \int X dx. \quad S_{p.q} Y = \int \frac{Y}{p} dy. \quad S_{p.q} Z = \int \frac{Z}{q} dz.$$

Soit $U = X$, $T = Y$, la formule (1) donnera

$$S_{p.q} X Y = S_p X Y = Y \int X dx - S_p \left(p \partial Y \int X dx\right) \quad . . . . (3)$$

On obtiendra de même

$$S_{p.q} X Z = S_q X Z = Z \int X dx - S_q \left(q \partial Z \int X dx \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$S_{p.q} Y Z = Y \int \frac{Z}{q} dz - S_{p.q} \left(p \partial Y \int \frac{Z}{q} dz \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

§ 15. Il existe cependant une classe assez étendue d'équation complètes de la forme

$$P \partial_x u + Q \partial_y u + R \partial_z u = V$$

où la difficulté d'intégration se réduit principalement à celle que peut exiger la recherche des fonctions y' et z'. Nous nous contenterons d'indiquer les cas suivans.

1°. Soit $V = X \psi(u)$. En introduisant une nouvelle variable $u' = \int \frac{du}{\psi(u)}$, la proposée se transformera en

$$P \partial_x u' + Q \partial_y u' + R \partial_z u' = X.$$

Si l'on a $X = P f(x)$, l'équation

$$\partial_x u' + p \partial_y u' + q \partial_z u' = f(x)$$

aura pour intégrale

$$u' = \int \frac{du}{\psi(u)} = \int f(x) dx + \varphi(y', z').$$

Prenons pour exemple l'équation

$$x \partial_x u + y \partial_y u + z \partial_z u = mu$$

m étant un facteur constant. On aura ici

$$u' = l(u), \quad f(x) = \frac{m}{x}, \quad \int f(x) dx = l(x^m),$$

$$dy - p dx = dy - \frac{y}{x} dx \quad . \quad y' = \frac{y}{x}$$

$$dz - q dx = dz - \frac{z}{x} dx. \quad . \quad z' = \frac{z}{x}$$

Donc l'intégrale de la proposée sera

$$u' = l(u) = l(x^m) + \varphi\left(\frac{y}{x}, \frac{z}{x}\right)$$

ou bien, en changeant convenablement la fonction arbitraire

$$u = x^m \varphi\left(\frac{y}{x}, \frac{z}{x}\right).$$

Cette intégrale répresente une fonction homogène des trois variables x, y, z et de l'ordre m; ce qui doit être ainsi, puisque la proposée exprime précisément la proprieté connue de ces sortes de fonctions.

Si l'on avait $V = PY\psi(u)$, ou $V = PZ\psi(u)$, on obtiendrait dans le premier cas

$$u' = \int \frac{Y}{p} dy + \varphi(y', z')$$

et dans le second,

$$u' = \int \frac{Z}{q} dz + \varphi(y', z').$$

2°. Soit $V = \alpha P + \beta Q + \gamma R$, la proposée devenant

$$D_{p.q} u = \alpha + \beta p + \gamma q$$

aura pour intégrale

$$u = \alpha x + \beta y + \gamma z + \varphi(y', z')$$

3°. Soit $V = PX + QY + RZ$; X, Y, Z répresentant toujours des fonctions de x, y, z seulement. L'équation à intégrer pourra s'écrire sous la forme

$$D_{p.q} u = X + pY + qZ,$$

d'où l'on tire immediatément

$$u = \int X dx + \int Y dy + \int Z dz + \varphi(y', z').$$

4°. Supposons plus généralement

$$V = PYZ\partial X + QXZ\partial Y + RXY\partial Z$$

On aura alors

$$D_{p.q} u = YZ\partial X + pXZ\partial Y + qXY\partial Z.$$

Donc

$$u = XYZ + \varphi(y', z').$$

5°. Soit $V = u(PX + QY + RZ)$, il en résultera

$$\frac{D_{p.q}\,u}{u} = D_{p.q}\,l(u) = X + pY + qZ.$$

Par consequent

$$l(u) = \int X\,dx + \int Y\,dy + \int Z\,dz + \varphi(y'.z')$$

ou bien

$$u = e^{\int X\,dx + \int Y\,dy + \int Z\,dz}\,\varphi(y', z')$$

6°. Soit encore $V = \dfrac{au(P+Q+R)}{x+y+z}$; il viendra

$$\frac{D_{p.q}\,u}{u} = D_{p.q}\,l(u) = \frac{a(1+p+q)}{x+y+z} = a\,D_{p.q}\,l(x+y+z).$$

Donc

$$l(u) = a\,l(x + y + z) + \varphi(y', z')$$

$$u = (x + y + z)^a\,\varphi(y', z')$$

§ 16. La méthode d'intégration qui vient d'être exposée suppose que si le second membre V contient la variable principale u, celle ci entre en même tems dans l'un au moins des trois coéfficiens P, Q, R. Dans le cas où la proposée ne remplit pas cette condition, on peut quelque fois, en introduisant une nouvelle variable, ramener l'équation à une autre dont le second membre ne renferme plus la variable principale, et qui sera susceptible alors d'être traitée par la methode précédente. Telle est par ex. l'équation

$$x^2 y\,\partial_x u - x^2 y\,\partial_y u - z(x^2 + xy)\,\partial_z u = 2xyz + zy^2 - uxy$$

où la variable u n'entre que dans le second membre.

En écrivant la proposée sous la forme suivante,

$$u + x\,\partial_x u - x\,\partial_y u - z\frac{(x+y)}{y}\,\partial_z u = \frac{z}{x}(2x + y)$$

on remarquera de suite que les deux premiers termes peuvent être remplacés par $\partial_x(ux)$. Si donc l'on fait $xu = u'$, d'où il suit $x\partial_y u = \partial_y u'$, et $z\partial_z u = \frac{z}{x}\partial_z u'$, l'équation précédente se réduira à

$$\partial_x u' - \partial_y u' - z\frac{(x+y)}{xy}\partial_z u' = z\frac{(2x+y)}{x} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha)$$

On aura ici $p = -1$, donc $y' = x + y$. Pour obtenir z' il faudra intégrer l'équation

$$dz + z\frac{(x+y)}{xy}dx = 0$$

après avoir eliminé y à l'aide de la relation $y = y' - x$; mais on pourra aussi procéder ainsi qu'il seut. Divisant par z, il viendra

$$\frac{dz}{z} + \frac{dx}{x} + \frac{dx}{y} = 0.$$

Si l'on remplace maintenant dx dans le dernier terme par $-dy$, on obtiendra immèdiatement en integrant chaque terme,

$$z' = \frac{zx}{y}.$$

Remarquons en autre que les coëfficiens P, Q, R de l'équation (α) sont liés avec la fonction V par la relation

$$V + Qz + Ry = 0$$

ce qui change cette équation en

$$D_{p.q}u' + pz + qy = 0$$

ou bien

$$D_{p.q}u' + D_{p.q}yz = 0.$$

Donc, en intégrant par rapport à la caractèristique $D_{p.q}$, on obtiendra pour l'intégrale complète de la proposée (*)

$$xu + yz = \varphi(y', z') = \varphi\left\{x + y, \frac{xz}{y}\right\}.$$

(*) Ce résultat s'accorde avec celui obtenu d'une autre manière par le Commandeur DE NIEUPORT dans ses *Mélanger mathématiques* (1e Recueil, pag. 39), ouvrage rempli de recherches profondes et

Le travail précédent est sans doute loin de pourvoir à toutes les difficultés qui se rencontrent dans l'intégration des équations qui font l'objet de nos recherches. Mais nous ne le présentons que comme un essai sur la matière, propre à conduire à des méthodes plus perfectionnées qu'on pourra peut être attendre un jour des géomètres qui voudront approfondir plus spécialement la théorie exposée dans le présent mémoire.

---

très étendues sur l'intégration des équations aux différentielles partielles des divers orders. En comparant notre méthode d'intégration à celle employée par cet excellent géometre, on verra ressortir les avantages dus à une notation simplifiée a introduire dans cette brauche de l'analyse mathématique.

BESCHRIJVING

VAN

GEBREKKIGEN HERSEN- EN SCHEDEL-VORM.

DOOR

W. VROLIK. + ord

Uitgegeven door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.

MET VIER PLATEN.



AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.
1854.

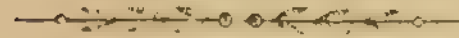
BESCHRIJVING

VAN

GEBREKKIGEN HERSEN- EN SCHEDEL-VORM.

DOOR

W. VROLIK.



De waarnemingen van gebrekkigen toestand der hersenen zijn nog niet zoo menigvuldig, dat men elke toevoeging daaraan als overbodig mag beschouwen. Ik vertrouw daarom ook geen onnutten arbeid te doen, door de mededeeling eener ontleding van het hoofd van een negenjarigen knaap, mij door Dr. GUGGENBUHL, van het gesticht op den Abendberg bij Interlaken, gezonden. — Hij gelieve voor dit kostbaar en belangrijk geschenk mijne opentlijke en herhaalde dankbetuiging aan te nemen. Het hoofd werd mij gezonden, ingesloten in eene laag gips. Deze wijze van overzending blijkt vrij voldoende te zijn. Bij het losmaken van de gipskorst scheen het vrij goed bewaard te zijn gebleven. Nu echter aan de lucht blootgesteld, ging het met groote snelheid tot ontbinding over, zoodat ik mij met de ontleding meer moest haasten dan mij welgevallig was. — Uit het daarbij gevoegd berigt blijkt, dat dit kind met een kegelvormig hoofd, als een suikerbrood, ter wereld kwam. — Toen het in het gesticht werd opgenomen, had het hoofd slechts een omtrek van 15″ P. M. De armen waren daarentegen zeer lang, 14″; de voorarm $7\frac{1}{2}$″; de hand 5″. Het beenstelstel was misvormd, krom en zwak. Stuipen, die twee dagen duurden, hebben een einde aan zijn leven gemaakt. De verstandelijke vermogens waren zeer onvolkomen; zijne zintuigelijke werkzaamheid daaren-

tegen wordt gaaf genoemd. Hij wist ter naauwernood twee personen van elkander te onderscheiden, en leerde nooit eenig ander woord dan *aigu* uitspreken. Hij was vroeger zeer verwaarloosd geworden, en had in zoo verre eenig nut getrokken van de verpleging op den Abendberg, dat hij begonnen was den zin van eenige woorden te vatten. Doctor Guggenbühl beschouwt dezen vorm als zeldzaam, en hecht vooral aan de platte gesteldheid van het achterhoofd, welke hij als diervorm (*Thierbildung*) voor hoogst nadeelig houdt.

Bij de uitwendige beschouwing bleek mij, dat de vorm van het hoofd hoogst zonderling is. Zijne hoogte, de korte afstand tusschen voorhoofd en achterhoofd, het platte geheel wegvallende achterhoofd, en het smalle, in het midden rugvormig verheven voorhoofd geven er een vreemdsoortig uitzigt aan.

Dat in zoo enge bewaarplaats geene natuurlijk ontwikkelde hersenen kunnen besloten zijn laat zich reeds te voren bepalen, en wordt door de waarneming bevestigd. Ter betere vergelijking heb ik bij elkander gesteld de afbeeldingen der hersenen van den gezegden knaap en die der hersenen van een natuurlijk gesteld meisje van denzelfden leeftijd. Meer afdoende ware de vergelijking geweest met de welgevormde hersenen van eenen knaap van denzelfden leeftijd; maar er bleef mij te dien opzigte geene vrije keuze over. Overigens is in die levensjaren het sexueel verschil zoo gering, dat het wel niet in rekening behoeft gebragt te worden.

Ik vang met de vergelijking aan der beide grondvlakten in *Fig.* 1 en *Fig.* 2. Opmerkelijk is in *Fig.* 1 de kortheid der halfronden van de groote hersenen, waardoor de voorkwabben betrekkelijk te groot schijnen, hoewel zij in volstrekten zin gebrekkig ontwikkeld zijn, gelijk uit haren driehoekigen vorm en asymmetrie is af te leiden. Merkwaardig zijn daarbij het gering aantal kronkels, hunne kortheid en onvolledigheid, de mindere diepte der sleuven en de tengerheid der reukzenuwen. Geen minder verschil is in de middelste hersenkwabben zigtbaar, die ten eenenmale de welving naar voren missen, waardoor zij in welgevormde hersenen de groeve van Sylvius overvleugelen. Ook in haar is dezelfde gebrekkige verhouding der hersenkronkels op te merken. Tegenover al deze bewijzen van gebrekkige ontwikkeling in de halfronden der groote hersenen, staat de groote omvang der kleine hersenen, nagenoeg gelijk aan dien in de welgevormde hersenen (*Fig.* 2). Daarbij komt eene zeer duidelijke asymmetrie, waardoor de regterhelft van de groote en de linkerhelft der kleine, het verre van die der tegenovergestelde zijde winnen. Ook teeken ik de smalheid op van de brug van Varolius, waardoor de zoo-

genaamde wortels van het vijfde zenuwpaar in de misvormde hersenen schier voor de helft digter bijeen staan dan in de welgevormde, en merkte ik eene meer dan gewone dikte op in het verlengd merg.

Hetgeen echter de hersenen van den knaap nog het meest kenmerkt is de zonderlinge verhouding der achterkwabben van de groote hersenen. De vergelijking van *Fig.* 3 en *Fig.* 4 toont, dat zij schijnen te ontbreken; waardoor de kleine hersenen niet overvleugeld worden, zoo als gewoonlijk geschiedt. Dit gemis van achterkwabben is echter voor een deel slechts schijnbaar; want door het opdrijven der halfronden, winnen zij gedeeltelijk in hoogte, hetgeen zij in lengte verliezen. Deze zonderlinge vorm, welke wel eenigzins de fœtale gesteldheid der hersenen herinnert, blijkt het gevolg te zijn, zoowel van gebrekkige wording der achterkwabben van de halfronden der groote hersenen, als van eene aanmerkelijke uitzetting der zijdelingsche hersenholligheden door wei, zoo als *Fig.* 5 dit leert. Door deze waterzucht, of, zoo men wil, door dit inwendig waterhoofd, is elk halfrond tot een uitspansel geworden, waarin de kronkels nog flaauw zigtbaar zijn, maar dat vooral in *a* het aanzien heeft gekregen van een dun doorschijnend vlies. Door de drukking, welke het vocht benedenwaarts heeft uitgeoefend, zijn het gestreept ligchaam en de gezigtsbedding minder gewelfd dan gewoonlijk.

Dat de beschrevene gebrekkige gesteldheid der hersenen invloed moet hebben op den vorm en op de zamenstelling des schedels zal elk gereedelijk beseffen. Behalve zijne zonderlinge kleinheid (*Fig.* 6, 8), waardoor men zich moeijelijk kan voorstellen den schedel van eenen knaap van negen jaren voor zich te hebben, is hoogst opmerkelijk zijne scheefheid (*Fig.* 7, 8, 9), waardoor hij zich voordoet, als ware hij aan het aangezigt van de linker- naar de regterzijde, en langs het regterachterdeel des schedels, van de regter- naar de linkerzijde, weggedrukt. Daarbij komen de kortheid en hoogte, waardoor niet veel van den gewonen menschelijken vorm overblijft, en eene zekere overeenkomst met den schedel van een jongen Orang-Oetan wordt te weeg gebragt.

Behalve den scheeven omtrek vertoont zich eene zeer eigenaardige asymmetrie in het binnenste der grondvlakte van den schedel, *Fig.* 8. Hier toch is alles, wat tot bevatting der halfronden van de groote hersenen dient, regts ruimer dan links; terwijl daarentegen de kuil voor de kleine hersenen aan het achterhoofd links ruimer is dan regts.

Niet minder merkwaardig is de asymmetrie aan het aangezigt; het is door meerdere ontwikkeling der linker helft als naar de regterzijde weggedrongen

27*

en alzoo over het geheel scheef; dit geldt zelfs van de onderkaak, en opmerkelijk vooral wordt dit verschil, zoo men den schedel, aan de ondervlakte, bij de achterste neusgaten beziet. Hier toch staan het scheeve verhemelte met het schuins gerigt middelschot der neusholte in het kruis, tegenover het scheef gerigte groot-achterhoofdsgat, zoodanig, dat de bovenkaak, het verhemelte en de helft der onderkaak het regts, en de helft van het groot-achterhoofdsgat met de achter- en ondervlakte van het achterhoofdsbeen het links in uitgebreidheid winnen. Met de sterkere ontwikkeling der linkerhelft van de onderkaak is onbetwistbaar in verband de meerdere omvang van het linker eirond gat van het wiggebeen. Opmerkelijk is, in verhouding tot den overigens zoo kleinen schedel, de groote omvang van het groot-achterhoofdsgat, welke met de dikte van het verlengd merg zamenstemt.

De dikte der schedelbeenderen is links zwaarder dan regts (*Fig.* 8). Aan het voorhoofdsbeen zijn opmerkelijk het gemis van welving, de ter naauwernood zigtbare voorhoofdsknobbels en de scherpe rug in het midden. De wandbeenderen zijn sterk in de hoogte, gebrekkig in de lengte ontwikkeld. In het linker wandbeen is naast den pijlnaad en vlak bij den kroonnaad eene doorschijnende en met eene duidelijke verhevenheid uitpuilende plek, waaruit het diploe ten eenenmale verdwenen is, en de beide beenplaten met aanmerkelijke verdunning, vlak tegen elkander aanliggen. (*Fig.* 6, 7, *a*). Aan het achterhoofdsbeen vallen de scheeve stand en de afplatting op te merken.

Aan de binnenvlakte der schedelbeenderen teeken ik eene zeer onregelmatige verhouding en een bijna volslagen gemis op van vingervormige indrukken en van hersenheuvels, als ook de op dien leeftijd ongewone en tevens zeer merkwaardige, bijna volledige ineensmelting der naden aan de binnenvlakte van den schedel. De grenzen zijn derhalve reeds gesteld aan den verderen groei van het bekkeneel, en was de knaap blijven voortleven, dan had hij ook, bij voortgaanden wasdom des ligchaams, dit zonderling kleine hoofd behouden. De onmogelijkheid van uitbreiding des schedels heeft vermoedelijk, bij het bestaan van waterzucht der hersenholligheden, de doorschijnende plek van het wandbeen, ten gevolge van interstitiele absorbtie, door drukking doen geboren worden. Dergelijke verdunde plekken beginnen zich ook aan het voorhoofdsbeen en aan het wandbeen te vormen. Voor de boezems van het harde hersenvlies zijn de indrukken smal en weinig scherp afgeteekend. De eenige eenigzins duidelijke is de S-vormige in het slaapbeen. De openingen voor de *vasa emissaria* zijn, met uitzondering der beide tepelgaten, zeer gering; de

beide wandbeengaten zijn zoo eng, dat zij ter naauwernood een zwijnsborstel doorlaten; de gescheurde gaten komen mij naauw voor; de achterste knokkelgaten zijn ter naauwernood aangeduid; de kanalen daarentegen voor de hersencarotiden zijn zeer wijd. Opmerkelijk komt mij voor de smalheid der zeefplaat, die met den zeer dikken hanekam verborgen ligt tusschen de haar eenigzins overwelvende oogkasplaten van het voorhoofdsbeen. Dit is eene ontwijfelbare toenadering tot hetgeen bij de vierhandige zoogdieren plaats heeft, en een gevolg tevens van de smalheid van het voorhoofdsbeen. Niet minder wordt mijne aandacht getrokken door den vorm van den Turkschen zadel. Behalve zijne zeer bekrompene ruimte is daaraan opmerkelijk de wijze, waarop de voorste clinoidaal-uitsteeksels ineensmelten met de middelste tot vorming eener ringvormige opening achter de gezigtszenuwgaten, waardoor de hersencarotide heengaat. Dergelijke afwijkingen zijn bij krankzinnigen niet zeldzaam. Otto * gaf daarvan reeds voorbeelden, en ik zoude uit eigene ondervinding een paar schedels kunnen aanvoeren van krankzinnigen, in het Buitengasthuis alhier verpleegd geweest, in een van welke de middelste clinoidaal-uitsteeksels ontbreken, en de voorste en achterste tot eenen ring ineensmelten, terwijl in den anderen de bestaande middelste clinoidaal-uitsteeksels verbonden zijn, zoowel met de voorste als met de achterste.

Wat de hersenzenuwgaten betreft, teeken ik op den geringen omvang der ronde en den grooten der eironde zenuwgaten, groote wijdte voorts der voorste knokkelgaten en der inwendige gehoorgaten.

Aan het aangezigt (*Fig.* 7) is, behalve zijne reeds genoemde asymmetrie, merkwaardig de sterke ontwikkeling van opperkaak-, neus- en jukbeenderen, waardoor het aangezigt een groot overwigt krijgt en sterk uitpuilt. De neuswortel is breed. De zeer ruime oogkassen hellen schuins benedenwaarts weg: aan hare bovenplaat is de kuil voor de traanklier zeer diep; de oogkasplaat van het jukbeen zakt weg, waardoor de ronde gaten van het wiggebeen meer dan gewoonlijk achterwaarts in de oogkas zigtbaar worden. De aangezigtsnaad van het tusschenkaakbeen is niet zigtbaar; maar aan het verhemelte vertoonen zich duidelijk de vier gescheiden tandkaskernen voor de snijtanden, waaruit zich dit been vormt.

Tot zoo verre gaat mijne beschrijving. Als slotsom daarvan en uit de beschouwing der afbeeldingen wordt gereedelijk afgeleid, dat schedel en herse-

* Otto, *Seltene Beobachtungen*, Heft. 1, pag. 74.

nen van dezen knaap zich in eenen staat van gebrekkige ontwikkeling bevinden. Aan welke oorzaak is deze toe te schrijven? Is zij het uitwerksel dier aangeboren en in de valleijen van enkele bergachtige streken endemisch heerschende ziekte, waaraan men den naam van *cretinisme* geeft? Of zal men haar eenvoudig met den meer algemeenen naam van *aangeboren idiotisme* aanduiden? Om op geleidelijke wijze tot de beantwoording dezer vragen te geraken, is het noodig zich eene derde vraag voor te stellen, namelijk: of er eenig wezentlijk verschil is tusschen cretinisme en idiotisme? Naar hetgeen Stahl daaromtrent in zijne doorwrochte verhandelingen zegt, zijn beiden niet van elkander onderscheiden, en behoort men het *cretinisme* te bestempelen met den naam van endemisch idiotismus (*Idiotia endemica*). Zeker is het, dat, als men de litteratuur over dit gewigtig onderwerp raadpleegt, men zich geredelijk overtuigt, dat het cretinisme zich evenmin door algemeene en standvastige kenmerken onderscheidt, als dat er steeds gelijkvormige lijkverschijnsels zijn in bouw des schedels, of in maaksel der hersenen. De verscheidenheid is daaromtrent zoo groot, dat er zich werkelijk de tegenspraak uit laat verklaren tusschen sommige der schrijvers over dit onderwerp. Ik stip dit slechts even aan, want er eene volledige verhandeling over te schrijven kan toch niet wel op dezen oogenblik mijn doel zijn. Ik vergenoeg mij met verwijzing tot de belangrijke daarover bestaande litteratuur * en zal mij, onder terugslag op de waarnemingen van anderen, tot de toelichting van het anatomisch feit bepalen.

Ik vang met de merkwaardige waterzucht der hersenholligheden aan. Dat zij een gewigtigen invloed heeft op den vorm der hersenen, blijkt uit mijne beschrijving zoowel als uit de afbeeldingen. Te oordeelen naar hetgeen Stahl en Iphofen zeggen, is uitzetting der hersenholligheden door wei niet zeld-

---

* J. F. Ackermann, *Ueber die Kretinen, eine besondre Menschen-Art in den Alpen* Gotha, 1790. — A. E. Iphofen, *Der Cretinismus, philosophisch und medicinisch untersucht.* 2 Th. Mit Kupfern. Dresden, 1817. — F E. Foderé, *Ueber den Kropf und den Cretinismus a. d. Franz.* von D. H. W. Lindemann. Berlin, 1796. — Maffei, *Der Kretinismus in den Norischen Alpen.* Erlangen, 1844. — *Beobachtungen ueber den Cretinismus.* Eine Zeitschrift herausgegeben von den Aerzten der Heilanstalt Mariaberg, 1s, 2s, 3s Heft. — K. Stahl, *Beitrag zur Pathologie des Idiotismus endemicus, genannt Cretinismus, in den Bezirken Sulzheim und Gerolzhofen* in Nov. Act. Acad. Caesar. Leop. Carol. Natur. Curios. Vol XXI, P. 1. — F. C. Stahl, *Neue Beiträge zur Physiognomik und Pathol. Anatomie der Idiotia endemica, genannt Cretinismus.* 2e Auflage. Erlangen, 1851. — *Rapport de la Commission crée par Sa Majesté le Roi de Sardaigne pour étudier le Cretinisme.* Turin, 1848.

zaam in hersenen van Cretins. Geen van beide, noch ook eenig ander door mij geraadpleegd schrijver maken melding van eenen vorm, gelijk aan dengene, welken ik beschreef. Veeleer schijnen zij genegen er de vergrooting van het hoofd uit te verklaren, welke niet zelden bij Cretins voorkomt, gelijk ook uit de daarvan uitgegeven afbeeldingen blijkt. IPHOFEN beeldt op zijne vijfde plaat eenen door waterzucht uitgezetten schedel van eenen Cretin af, welke in alle opzigten overeenkomt met den gewonen vorm, aan het waterhoofd eigen. In den door mij beschreven schedel ontbreken daarentegen al de gewone kenmerken van het waterhoofd. In plaats van vermeerderden is er althans in de dwarse en overlangsche doormetingen, verminderde omvang der schedelholte; geen het minste spoor is zigtbaar van verlengd bestaan der fontanellen, geene aanduiding van Wormiaansche beenderen, zoo als b. v. te zien is in den schedel van een vijftigjarigen Cretin, door STAHL afgebeeld en beschreven *, geen vertikale stand der oogkasplaten van het voorhoofdsbeen enz.

De vorm van den beschreven hydrocephalischen schedel staat derhalve geheel op zich zelven, en is ook in geenendeele vergelijkbaar met die zonderlinge verlenging van het hoofd naar boven, onder den vorm van eenen geknotten kegel, welke men in enkele waterhoofden, aan achteruitstekend achterhoofd en aan uitpuilende zijwanden ziet toegevoegd. Ik deelde daarvan een niet onbelangrijk voorbeeld mede †, vind dezen vorm terug in de afbeelding van eenen Cretinschedel door STAHL § gegeven, en zoude daaraan mijne eigene latere ondervinding kunnen toevoegen. In al deze gevallen is er, terwijl het hoofd zich naar boven verlengt, elders, hetzij van achteren, hetzij op zijde eene uitwijking aan zigtbaar. Hier daarentegen is er, behalve de uitpuiling naar boven, overal elders inkorting der doormetingen. Gaarne erken ik, dat het niet gemakkelijk valt, zich van den vorm des schedels in verband met de waterzucht der hersenholligheden rekenschap te geven. Toen ik deze Verhandeling der Akademie aanbood, opperde ons geacht medelid SCHNEEVOOGT het vermoeden, dat de waterzucht der hersenholligheden hier niet aangeboren

* Z. zijne *Neue Beiträge*, Taf. 17. — Men raadplege over het waterhoofd G. VROLIK, *Bedenkingen over het inwendig Waterhoofd*. N. Verh. d. 1e Kl. K. N. Inst., Dl. VIII, blz. 140. Amsterdam, 1840.

† W. VROLIK, *Tab. ad illustrandam embryogenesin hominis et animalium caet.* Amstelodami, 1849. Tab. 35 et 36.

§ STAHL, *Neue Beiträge*. Taf. VII.

zoude wezen, maar eerst later ontstond, welligt na de vroege, volledige vergroeijing der naden. Ik kan de mogelijkheid daarvan noch ontkennen noch bevestigen, niets wetende van hetgeen hier vooraf ging. Intusschen, zoo wij STAHL raadplegen, vinden wij bij dezen, door de rijke ondervinding welke hij opdeed, zoo bevoegden schrijver vermeld, dat het ontstaan van *hydrocephalus acutus* bij Cretins geene zeldzame gebeurtenis is. Hij zegt dat deze ziekte zelden vóór de tiende maand na de geboorte intreedt, en dat hare grootste hevigheid invalt tusschen het vierde tot aan het zevende levensjaar. Na eenen toestand van prikkeling, welke gewoonlijk een paar weken duurt, vormt zich het exsudaat, onder begeleiden van stuipen. Deze stuipen gaan aanvankelijk van vrij hevige aandoeningen vergezeld; maar allengs volgen daarop meer automatische bewegingen, welke het tijdperk der verlamming verkondigen. Zij zijn zelden intermitterend, of wisselen ook wel af met soporeusen toestand. Het tooneel eindigt met den dood, of met stompzinnigheid. De *hydrocephalus acutus* begint derhalve in een tijdperk, waarop de hersenen reeds eenen zekeren graad van voltooijing openbaren. Stelt men zich voor, dat dit ook hier geschied is, in hersenen, die zich ongetwijfeld achterwaarts niet behoorlijk ontwikkeld hebben, en, als het ware, op den fœtalen vorm terug bleven, en in eenen schedel, door het gedeeltelijk vergroeijen der naden voor geene uitzetting meer vatbaar, of althans daarin op aanmerkelijke wijze belemmerd, dan laat zich daaruit verklaren, dat de te weeg gebragte drukking zoo wel verdunning van de mergplaat der hersenen, als van de bekkeneels-beenderen veroorzaakte. Het snel vergroeijen der naden schijnt bij Cretins niet vreemd te zijn. STAHL spreekt bij hen van te vroegtijdige of te werkdadige ossificatie, door volkomen vergroeijen van zulke naden, die tot aan het einde van het leven plegen voorhanden te zijn, zoo als de kroonnaad en de pijlnaad. Bekkeneelsbeenderen, of geheel of op enkele plekken van diploe beroofd en tot aan doorschijnendheid toe verdund, worden evenzeer door hem genoemd. Dat er, zoo als in den regel bij hydrocephalus pleegt te geschieden, vrij wat bloedaandrang naar de hersenen plaats had, wordt waarschijnlijk door de hierboven opgegeven betrekkelijke naauwheid der openingen tot uitvoer van het aderlijk bloed, tegenover de wijdte van de carotiden-kanalen. Deze gesteldheid is in de schedels van Cretins meer opgemerkt geworden. FRIEDERICH PETZ * be-

* F. PETZ, *Physiologisch-Pathologische Untersuchungen ueber zwei Cretinen-Schedel in Beob. ueb. den Cretinismus.* Eine Zeitschrift enz. Heft. 1, p. 96.

schrijft een dergelijken schedel, waarin de openingen, waardoor de slagaders heengaan, ruim, die voor de aders zeer naauw zijn. Het linker wandbeengat ontbreekt, het regter is van geringen omvang. Het linker achterst knokkelgat ontbreekt, het regter is zoo naauw, dat er bijna geen borstelhaar door kan. De tepelgaten zijn aan beide zijden zeer naauw. Al deze opmerkingen van PETZ stemmen derhalve vrijwel overeen met de mijne, waarbij ik voeg dat de indrukken voor de hersenvlies-slagaders in den door mij onderzochten en nu beschreven schedel mij vrij diep voorkomen.

Ook de asymmetrie van hersenen en schedel verdient opmerking. Dat asymmetrie over het algemeen in de geheele dierenwereld bewijs is van mindere volmaaktheid, is eene stelling, welke men, sedert MECKEL haar voordroeg, vrij algemeen aanneemt *. Vertoont zij zich derhalve in ligchaamsdeelen, waarin symmetrie kenmerk is en sieraad, dan is zij ongetwijfeld bewijs van gebrekkige wording. In laaggestelde zoogdieren, bijv. in den Stenops werd asymmetrie der hersenen door SCHROEDER VAN DER KOLK en door mij opgemerkt, en bij eene idiotische vrouw gaf de eerstgenoemde daarvan eene hoogst merkwaardige beschrijving †. CRUVEILHIER § teekende insgelijks asymmetrie op in de hersenen van een idiotisch jongentje, vijf jaar oud. Ik kan daaraan eene eigene waarneming voegen, welke ik voor eenige jaren verschuldigd was aan mijn hooggeachten ambtgenoot VOORHELM SCHNEEVOOGT. Zij geldt een idiotischen jongeling, een-en-twintig jaren oud, waarin de linker halfronden van de groote en van de kleine hersenen veel kleiner zijn dan de regter. Ook in Cretins heeft men reeds meermalen asymmetrie van den schedel opgeteekend, met scheef aangezigt en onevenredigheid in de openingen tot doorgang van zenuwen en bloedvaten, dus ongeveer zoo als hier plaats heeft **.

Aan de zamenstemming tusschen de gebrekkige ontwikkeling van het half-

---

* Men raadplege daaromtrent vooral J. C. G. LUCAE, *De Symmetria et Asymmetria organorum animalitatis, insprimis cranii*, Marburgi 1839; — en van denzelfden schrijver *Zur Organischen Formenlehre*, Frankfort a./M. 1844.

† J. L. C. SCHROEDER VAN DER KOLK, *Waarneming eener atrophie van het linker halfrond der hersenen* enz. in Verh. der Eerste Klasse van het Kon. Nederl. Inst., 3e Reeks, Dl. V, blz. 31.

§ CRUVEILHIER, *Anatomie Pathologique du corps humain*, Paris 1829 1835, Tom. I. Livr V. Pl. 5.

** F. C. STAHL, *Neue Beiträge*, p. 68.

rond der groote hersenen aan de eene, en die van het halfrond der kleine hersenen aan de tegenovergestelde zijde, hechten velen eene groote waarde. Een dergelijk kruisselings-verhouden werd ook door SCHROEDER VAN DER KOLK in het merkwaardig door hem beschreven geval waargenomen. Niet minder geschiedt zulks in de waarnemingen van anderen, door hem aangehaald. Maar dat neemt de mogelijkheid niet weg, dat groote en kleine hersenen ook aan eene en dezelfde zijde gebrekkig ontwikkeld kunnen zijn, gelijk uit de hierboven aangevoerde waarneming van mij, als ook uit die van andere schrijvers blijkt. De zamenstemming in het kruis is derhalve geen standvastig verschijnsel.

Belangrijk is in de door mij beschreven hersenen het betrekkelijk overwigt der kleine hersenen. Vergelijkt men *Fig.* 1 en *Fig.* 2 met elkander, dan vindt men in de hersenen van den Cretin, bij gebrekkige gesteldheid der groote hersenen, eenen omvang in de kleine hersenen, schier gelijk aan diengene, welken men in het welgevormd meisje van denzelfden leeftijd aantreft. Te dien opzigte verwijs ik tot hetgeen SCHROEDER VAN DER KOLK en ik omtrent het overwigt der kleine hersenen bij den Chimpansé en bij den Orang-Oetan bekend maakten *. Blijkbaar zijn zij in den Cretin onbelemmerd in hare ontwikkeling voortgegaan, terwijl de groei der groote hersenen door het vroegtijdig ineengroeijen der schedelbeenderen belemmerd werd. Heeft het tentvormig verlengsel welligt de kleine hersenen beveiligd voor het gevaar van drukking door de zonderling uitgezette halfronden der groote hersenen? Vreemd zal aan sommigen kunnen toeschijnen de aanduiding van hersenkronkels aan de binnenvlakte van het door wei uitgezet halfrond in *Fig.* 5. Zij strijdt met de gewone bevinding bij het waterhoofd, waarin men toch gewoonlijk een glad uitspansel, in plaats eener gekronkelde oppervlakte vindt. Vreemd schijnt evenzeer de dikte van het grootste deel van den wand der uitgezette hersenholligheid. Ik durf echter verzekeren, dat de voorstelling van beide juist is. Deze bijzonderheden overtuigen ons op nieuw, dat de vorm van waterhoofd, welken wij hier ontmoeten, hoogst eigenaardig is. De belemmerde uitzetting, door de spoedige vergroeijing der schedelbeenderen te weeg gebragt, ging de uitbreiding der halfronden tot eene gladde oppervlakte

* *Ontleedk. Nasporingen over de hersenen van den Chimpansé* in de Verh. der Eerste Klasse van het Kon. Nederl. Inst., 3e Reeks, Dl. I, blz. 263.

tegen, en liet ook voor het grootste deel aan de uitgezette hersenholligheid een vrij dikken wand over, in plaats van het dunne mergvlies, dat in waterhoofden gewoonlijk zijne plaats vervangt en dat hier slechts op eene enkele plek voorkomt.

Zoo ik nu de door mij gegeven beschrijving en al de gevolgtrekkingen welke ik daaruit afleidde, toetse aan hetgeen door anderen omtrent cretinisme is medegedeeld, kom ik tot de overtuiging, dat niets mij behoeft te beletten, om het door mij ontlede hoofd te beschouwen, als behoorende aan een Cretin. Ik vind, wel is waar, bij geen der door mij geraadpleegde schrijvers den door mij beschreven vorm volkomen terug; maar ik ontmoet ook daarin bij hen eene zoo groote verscheidenheid, dat ik meen mij daardoor genoegzaam geregtigd te gevoelen tot de stelling, dat er geen eigen schedelvorm voor het cretinisme bestaat. Ik verheug mij daaromtrent overeenstemming te ontmoeten bij schrijvers, die meer dan ik bevoegd zijn, om de zaak door eigen ondervinding te beoordeelen. Maffei zegt dat het cretinisme nimmer bij de geboorte herkenbaar is, maar eerst vijf of acht maanden daarna zich begint te openbaren. Er is dus bij het pasgeboren kind, in den vorm des schedels niets, dat den toekomstigen Cretin van een welgevormd kind onderscheidt. Later ontwikkelt zich het cretinisme, onder eenen zamenloop van verschijnsels, waaronder de onvolkomenheid der geestvermogens behoort. Van daar dan ook dat er een kleine en een groote, een van boven uitpuilende en een van boven platgedrukte schedel bij kan voorkomen; ja zelfs dat, gelijk Maffei daarvan een merkwaardig voorbeeld gaf, het hoofd somtijds eenen geheel normalen vorm kan hebben. Het algemeen kenmerk, vroeger door Ackermann voorgedragen, dat al de schedels van Cretins eenen indruk zouden hebben aan hunne grondvlakte, in den omtrek van het groote achterhoofdsgat, blijkt, volgens het getuigenis van allen, eene onjuiste opvatting te zijn, doordien hij rachitische osteoporose met cretinisme verwarde. Zij toch kan het cretinisme vergezellen, maar behoeft er niet altijd bij voor te komen. Even zoo is het met de algemeene en plaatselijke hyperostose gelegen, waarvan Stahl in den schedel van Cretins voorbeelden opgeeft. Deze is, in weerwil van hetgeen Maffei daartegen aanvoert, even zoo wisselvallig als zoo vele andere bijzonderheden bij Cretins voorkomende, gelijk uit de opgave bij Stahl van verdunde bekkeneels-beenderen blijkt.

Kleinheid der bewaarplaats van de hersenen zal intusschen, uit den aard

der zaak, wel het meest bij idiotisme voorkomen. CARUS * heeft dit op objective wijze voorgesteld, door in de omtrekken der schedels van TALLEYRAND, en van SCHILLER dien van den schedel eens Cretins af te beelden. STAHL † beeldt den schedel van een Cretin af, die met diengene, welke mij bezig houdt, eenige overeenkomst aanbiedt, hoewel hij eenigzins grooter is. In vele musea bewaart men schedels van krankzinnigen, die een zeer geringen omvang hebben. Onder deze is vooral merkwaardig de schedel van eenen twintig-jarigen idioot, uit de verzameling van BONN, door G. SANDIFORT beschreven en afgebeeld §. Aan een naauw en weinig gewelfd bekkeneel voegt zich een sterk uitpuilend aangezigt. Wegens de krachtige ontwikkeling der slaapspieren is het planum semicirculare als door een verheven rand of kam omschreven. De hersenholte heeft eene driehoekige gedaante en loopt naar voren puntig toe. De halfronden der groote hersenen gaan naar voren in eene punt over; hunne voorste kwabben zijn smal en driehoekig van vorm; de kronkels zijn breed, maar met ondiepe sleuven er tusschen. Naar achteren zijn de halfronden door gemis van achterkwabben zoo weinig verlengd, dat zij slechts over de voorste helft der kleine hersenen heengaan. De groeve van SYLVIUS is niet zeer merkbaar. De hersenschenkels zijn digt aan een gevoegd; in plaats van twee corpora candicantia is er slechts eene kwab. De achterrand van het eeltachtig ligchaam is als uitgesneden, zoodat hij zich niet verder uitstrekt, dan tot over de helft der gezigtsbedding. Deze laatste bijzonderheid is hoogst gewigtig. De vergelijkende ontleedkunde toch leert, dat, hoe lager de zoogdieren gesteld zijn, hoe minder het eeltachtig ligchaam zich achterwaarts verlengt **.

Deze kleinheid der hersenen en des schedels is overigens ook reeds door PINEL, GALL en SPURZHEIM, HASLAM en ESQUIROL bij idiotisme opgemerkt geworden. TIEDEMANN bepaalt in zijne merkwaardige verhandeling †† het

---

* C. G. CARUS, *Atlas der Cranioscopie*, Heft 1, Taf. IX.

† STAHL, *Beitrag* enz. in Nov. Act. Acad. Caes. Leop. Carol. T. XXI, p. 1. T. XXVI.

§ *Museum Anat. Acad. Lugd. Batavae* 1835, Vol. IV, Tab. 190, 191.

** Ik heb getracht dat aan te toonen in de *Overzigten van het Maaksel der verschillende orden van Zoogdieren, in Leven en Maaksel der Dieren.* Dl. I en II. Amsterdam, 1853.

†† F. TIEDEMANN, *Das Hirn des Negers mit dem des Europäers und Orang-Outans verglichen.* Heidelberg, 1837.

gewigt der hersenen en de capaciteit des schedels door cijfers, waartoe ik de vrijheid neem te verwijzen.

Overwigt van het aangezigt is het noodwendig gevolg van de gebrekkige bekkeneelswording. De sterk uitpuilende kaken, de vrij breede jukbeenderen geven bij het smalle voorhoofd aan dezen schedel eene uitdrukking, die iets aapachtigs heeft. Ook door Stahl wordt nagenoeg hetzelfde opgeteekend. Hij vermeldt daarbij sporen van terugblijven op de vroegere tijdperken van ontwikkeling, zigtbaar onder anderen in het aanwezig zijn van den aangezigtsnaad van het tusschen-kaakbeen. Deze nu is, wel is waar, niet zigtbaar in den door mij beschreven schedel; maar toch is in het verhemelte, merkbaar het bestaan der vier gescheiden kernen, waaruit zich het tusschenkaakbeen ontwikkelt.

Opmerkelijk komt mij ten slotte de groote omvang voor van het eironde gat van het wiggebeen en van het voorste knokkelgat. Deze stemt ongetwijfeld zamen met de dikte van den derden tak van het vijfde paar en van de ondertongzenuw. Daarmede hangt zamen de sterke ontwikkeling der onderkaak en der tong, door alle schrijvers bij Cretins opgeteekend. Dat zulks in verband is met de groote vraatzucht, aan de Cretins eigen, vordert geen betoog.

Hiertoe bepaalt zich hetgeen ik omtrent dit onderwerp meende in het midden te moeten brengen. Ik hoop, door hetgeen ik mededeelde, der wetenschap geene ondienst gedaan te hebben.

Amsterdam,
24 December 1855.

TABEL VAN AFMETINGEN

volgens de Nederl. el.

Hoofd.

Afstand van het eene tot het andere buitenst oogkas-uitsteeksel . .	0,09.
Breedte van het voorhoofd boven de ooren	0,115.
Breedte van den uitpuilenden rug op het midden van het voorhoofd	0,045.
Afstand van den eenen uitpuilenden hoek des jukbeens tot den anderen.	0,10.
Geheele hoogte van het hoofd, gemeten van de punt van de kin tot aan de kruin	0,20.
Afstand van het uitwendig gehoorgat tot aan de kruin en tot aan het voorhoofd	0,115.
Afstand van het uitwendig gehoorgat tot aan de kin.	0,085.
Lengte van het hoofd, gemeten van het achterhoofd tot aan het voorhoofd, en lager van het achterhoofd tot aan den wenkbraauwboog.	0,158.
Afstand tusschen het uitwendig gehoorgat en het benedenst gedeelte van het achterhoofd bij den oorsprong van den nek	0,058.
Afstand tusschen het uitwendig gehoorgat en den wortel van den neus	0,072.

Schedel

van den negenjarigen Cretin.		*van een welgevormd negenjarig meisje.*	
Lengte van den schedel van het voorhoofd tot aan het achterhoofd	0,135.	Lengte van den schedel van het voorhoofd tot aan het achterhoofd	0,165.
Breedte van den schedel in zijne grootste dwarse doormeting.	0,108.	Breedte van den schedel in zijne grootste dwarse doormeting.	0,132.
Hoogte van den schedel, gemeten van den voorrand van het groot achterhoofdsgat tot aan de kruin	0,12.	Hoogte van den schedel, gemeten van den voorrand van het groot achterhoofdsgat tot aan de kruin	0,125.

Afmetingen der grondvlakte van den schedel van den Cretin, om de asymmetrie aan te toonen.

Regterzijde.		*Linkerzijde.*	
Breedte van de groeve voor de middelste hersenkwab, gemeten van het midden van den clivus tot aan den omtrek van den schedel	0,050.	Breedte van de groeve voor de middelste hersenkwab, gemeten van het midden van den clivus tot aan den omtrek van den schedel.	0,042.
Lengte derzelfde groeve, gemeten van het midden van den scherpen achterkant der zwaardswijze uitsteeksels tot aan het midden van den scherpen kant van het rotsbeen	0,041.	Lengte derzelfde groeve, gemeten van het midden van den scherpen achterkant der zwaardswijze uitsteeksels tot aan het midden van den scherpen kant van het rotsbeen	0,038.
Breedte van de kuil in het achterhoofdsbeen voor de kleine hersenen, gemeten van het midden der onderste kruislijn tot aan het achterste uiteinde van het rotsbeen . . .	0,056.	Breedte van de kuil in het achterhoofdsbeen voor de kleine hersenen, gemeten van het midden der onderste kruislijn tot aan het achterste uiteinde van het rotsbeen . . .	0,062.

VERKLARING DER AFBEELDINGEN.

Pl. I. Stelt de grondvlakten voor der hersenen van den negenjarigen Cretin en van een welgevormd negenjarig meisje.

Fig. 1. Hersenen van den negenjarigen Cretin.

Fig. 2. Hersenen van een welgevormd negenjarig meisje.

Pl. II. Stelt den opstand voor aan de buitenvlakte der hersenen van den negenjarigen Cretin en van een welgevormd meisje.

Fig. 3. Hersenen van den negenjarigen Cretin.

Fig. 4. Hersenen van een welgevormd negenjarig meisje.

Fig. 5. Regter halfrond der groote hersenen van den negenjarigen Cretin, geopend, om de uitzetting der zijdelingsche hersenholte door waterzucht, en de dunne plek van den wand der hersenholte in *a* te doen zien.

Pl. III. Schedel van den negenjarigen Cretin van voren en ter zijde gezien.

Fig. 6. Schedel ter zijde gezien, met de doorschijnende plek van het linker wandbeen in *a*.

Fig. 7. Schedel van voren, met de doorschijnende plek van het linker wandbeen in *a*.

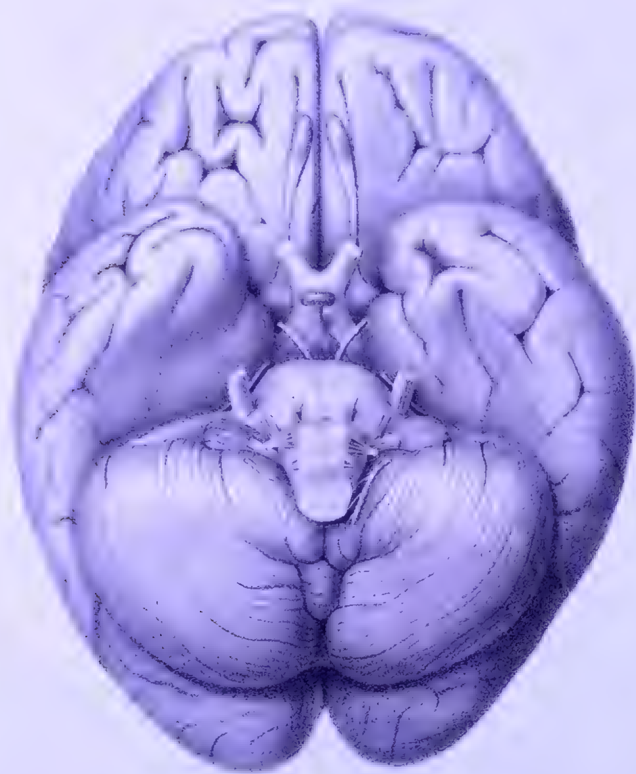
Pl. IV. Grondvlakte des schedels van den negenjarigen Cretin, aan hare buiten- en binnenvlakte.

Fig. 8. Binnenzijde van de grondvlakte des schedels.

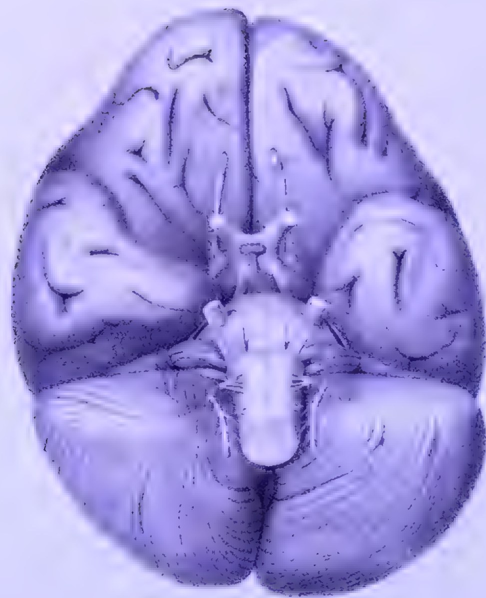
Fig. 9. Buiten- of onderzijde van de grondvlakte des schedels, met de daarbij behoorende onderkaak.



2

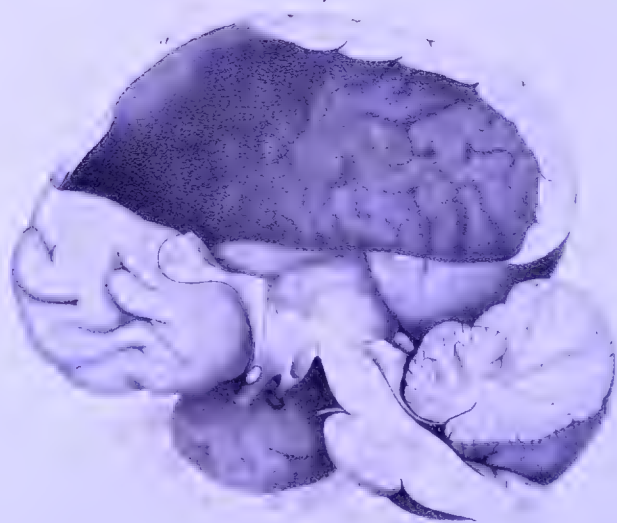


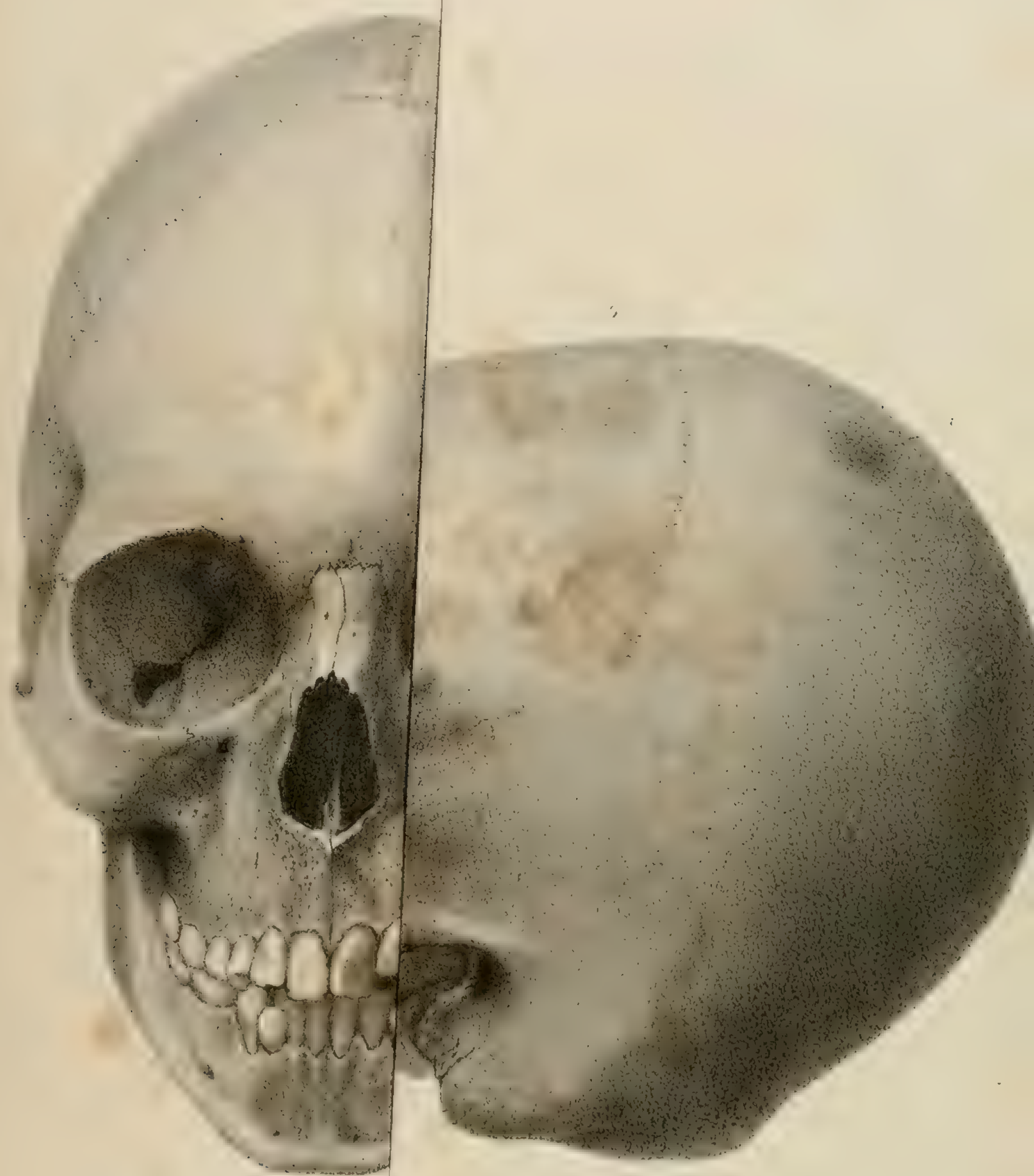
1















9

